T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOMPOZİT LEVHALARIN TEK TESİRLİ YAPIŞMA BAĞLANTILARI ÜZERİNE UV RADYASYONU ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Ahmet AKYÜZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR

Ağustos - 2020

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın başarıya ulaşmasında büyük katkıları olan ve projenin gelişim aşamalarında bana her konuda yol gösteren Doç. Dr. Kadir TURAN' a, yüksek lisans derslerimde bana her konuda destekte bulunan Dr. Öğr. Üyesi Gurbet ÖRÇEN'e ve tez çalışmalarımda bana her türlü desteğini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ahmet AKYÜZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR I

İÇİNDEKİLER II

ÖZET VI

ABSTRACT VII

ÇİZELGE LİSTESİ VIII

ŞEKİL LİSTESİ IX

KISALTMA VE SİMGELER XII

1. GİRİŞ 1

2. KAYNAK ÖZETLERİ 3

3. MATERYAL VE METOT 11

3.1. Tanım 11

3.1.1. Kompozit Malzeme Yapımında Kullanılan Temel Maddeler 11

3.1.2 Kompozit Malzemelerin Avantajları 12

3.1.3. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları 13

3.1.4. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları 15

3.1.4.1. Havacılık ve Uzay Sektöründe Kompozit Malzeme Kullanımı 15

3.1.4.2. Otomotiv Sektöründe Kompozit Malzemelerin Kullanımı 16

3.1.4.3. İnşaat Sektöründe Kompozit Malzemelerin Kullanımı 17

3.1.4.4. Tüketim Sektöründe Kompozit Malzemelerin Kullanımı 18

3.1.4.5. Savunma Sektöründe Kompozit Malzemelerin Kullanımı 18

3.1.4.6. Denizcilikte Kompozit Malzeme Kullanımı 19

3.1.4.7. Tıbbi Uygulamalarda Kompozit Malzeme Kullanımı 19

3.1.4.8. Demiryolu Sektöründe Kompozit Malzeme Kullanımı 20

3.1.4.9. Yenilenebilir Kaynaklarda Kompozit Malzeme Kullanımı 20

3.2. Yapıştırma Bağlantıları ……..……..……...…… 21
3.2.1. Adhezyon …….. 21
3.2.2. Kohezyon ……..…… 22
3.2.3. Yapıştırma Bağlantılarının Avantajları ……..… 23
3.2.4. Yapıştırma Bağlantılarının Dezavantajları …… 23
3.2.5. Yapıştırma İşleminde Bağlantı Türleri ……..…… 24
3.2.5.1. Bindirmeli Bağlantı (Lap Bağlantısı) …… 24
3.2.5.2. Eğimli Bindirmeli Bağlantı …….. 24
3.2.5.3. Alın Alına Bağlantı ……... 24
3.2.5.4. Tek Destek Elemanlı Bindirmeli Bağlantı …… 24
3.2.5.5. Çift Destek Elemanlı Bindirmeli Bağlantı …… 25
3.2.5.6. Eğimli Çift Destek Elemanlı Bindirmeli Bağlantı …… 25
3.2.5.7. Çift Bindirmeli Bağlantı …… 25
3.2.5.8. Basamaklı Bindirme Bağlantısı …… 26
3.3. Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerin Deneysel Olarak Tespiti …… 26
3.3.1. Fiber Doğrultusunda (1,x) Özelliklerin Deneysel Olarak Tespiti …… 26
3.4. Sertlik ve Sertlik Ölçme Yöntemleri ……..…… 27
3.4.1. Sertlik Ölçme Yöntemleri ……. 28
3.4.1.1. Brinell Sertlik Ölçme Yöntemi ……..…… 28
3.4.1.2. Rockwell Sertlik Ölçme Yöntemi ……..…… 28
3.4.1.3. Vickers Sertlik Ölçme Yöntemi ……..…….. 29
3.4.1.4. Mikro-Sertlik Ölçme Yöntemi ……..…… 29
3.5. Ultraviyole Işınları ……..……..……..……. 30
3.5.1. Elektromanyetik Dalgalar ……..……..…….. 30
3.5.2. Elektromanyetik Spektrum Bölgeleri ……..…….. 31
3.5.3. Ultraviyole Işını ……..... 32

3.5.3.1. UV-A Işınları ……..... 32

3.5.3.2. UV-B Işınları ……..... 32

3.5.3.3. UV-C Işınları ……..... 33

3.6. Problemin Modeli ……..... 33

3.7. Numunelerin Hazırlanması ……..... 36

3.8. Deneyin Yapılışı ……..... 42

3.8.1. Mikro-Sertlik Ölçüm Deneylerinin Yapılışı ……..... 42

3.8.2. Statik Çekme Deneylerinin Yapılışı ……..... 43

3.8.2.1. Tek Tesirli Yapıştırma Bağlantı Numunelerinin Statik Çekme Cihazı İle Çekilmesi ……..... 43

3.8.2.2. Kompozit Levhalara ve Yapıştırıcıya Gerinim pulu Yapıştırılarak Çekme Cihazı İle Çekilmesi ……..... 44

4. BULGULAR VE TARTIŞMA ……..... 47

4.1 Deneysel Çalışma Sonuçları ……..... 47

4.1.1. UV Işınlarına Maruz Kalan Cam Takviyeli Kompozit Levhaların ve Yapıştırıcının Mikro-Sertlik Deney Sonuçları …….. 47

4.1.2. UV Işınlarına Maruz Kalan Tek Tesirli Yapıştırma Bağlantılarının Statik Çekme Deney Sonuçları ……..... 49

4.1.3. UV Işınlarına Maruz Kalan Gerinim pulu yapıştırılan Cam Takviyeli Kompozit Levhaların ve Yapıştırıcının Deney Sonuçları ……..... 51

5. SONUÇ VE ÖNERİLER ……..... 57

5.1. Elde Edilen Deney Sonuçların Grafikler ve Çizelgeler İle Açıklanması ……. 57

5.1.1. UV Işın Maruziyeti Sonrasında Kompozit Levha ve Yapıştırıcı Numunelerin Mikro-Sertlik Deney Sonuçları ……..... 57

5.1.2. UV Işın Maruziyeti Sonrasında Tek Tesirli Yapıştırma Bağlantı Numunelerinin Hasar Yükü Değişim Sonuçları ……..... 59

5.1.3. UV Işın Maruziyeti Sonrasında Kompozit Levhaların ve Yapıştırıcının Mekanik Özelliklerindeki Değişim Sonuçları …… 61

5.2. Tek Tesirli Yapıştırma Bağlantı Numunelerinde Deneysel Çalışma Sonucu Ortaya Çıkan Hasar Tipleri ……..... 68

5.3. Sonuç ve Değerlendirme ……..... 71

6. KAYNAKLAR 75

ÖZGEÇMİŞ 77

ÖZET

KOMPOZİT LEVHALARIN TEK TESİRLİ YAPIŞMA BAĞLANTILARI ÜZERİNE UV RADYASYONU ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet AKYÜZ

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2020

Bu çalışmada kompozit levhaların tek tesirli yapıştırma bağlantıları, kompozit levha numuneleri ve yapıştırıcı numunelerinin üzerinde UV ışınlarının etkisi araştırılmıştır. Kompozit numunelere ve yapıştırıcı numunelerine 300, 600, 900 ve 1200 saat boyunca UV ışınlarına maruz bırakıldı. Maruziyet zaman parametrelerine göre elde edilen verilerle tek tesirli yapıştırma bağlantı numuneleri, kompozit levha numuneleri ve yapıştırıcı numunelerinin mekanik özellikleri bulunup karşılaştırılmalar yapıldı. Kompozit levha numunelerinin 600 saat boyunca UV ışınlarına maruz bırakıldıktan sonra sertlik değerleri düşerken 900 saatlik ve 1200 saatlik maruziyet dilimlerinde ise sertlik değerleri tekrar artmıştır. Yapıştırıcı üzerinde UV ışınlarının maruziyet süreleri artırıldıkça sertlik değerleri genel olarak çok küçük olsa da artış eğilimi göstermiştir. Tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerinde ve kompozit levha numunelerinde UV ışınlarının maruziyet süreleri artırıldıkça hasar yükü artmıştır. Kompozit levha numuneleri UV maruziyet süreleri artıkça elastite modülü ve possion oranı değerleri azalmıştır. Yapıştırıcı numunelerinde ise elastite modülü ve possion oranı değerleri UV maruziyet sürelerine bağlı olarak çok küçük değişiklikler göstersede genel olarak önemli bir değişim olmamıştır. Statik çekme deneylerinden sonra tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerinde oluşan hasar tipi genel olarak birleşik hasar tipi olmuştur.

Anahtar Kelimeler: UV, **y**apıştırma bağlantısı, kompozit levha, yapıştırıcı, mekanik özellikler, hasar tipi, sertlik.

ABSTRACT

UV RADIATION EFFECT ON THE ADHESIVELY SINGLE LAP COMPOSITE JOINTS

MSc THESIS

Ahmet AKYÜZ

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE

2020

In this study, the effects of UV rays on composite plates' single lap joints plates, composite plates and adhesive samples were investigated. Composite samples were exposed to UV rays for 300, 600, 900 and 1200 hours. With the data obtained according to the exposure time parameters, the mechanical properties of single lap joints samples, composite plate samples and adhesive samples were found and compared. The hardness values of composite plate samples decreased after exposure to UV rays for 600 hours, while the hardness values increased again in the 900-hour and 1200-hour exposure slices. As the exposure times of UV rays on the adhesive were increased, the hardness values tended to increase, albeit very small. The maximum rupture damage load increased as the exposure times of UV rays increased in single lap joints samples and composite plate samples. As composite plate samples increase UV exposure times, the modulus of elasticity and possion ratio decreased. In the adhesive samples, although the modulus of elasticity and the ratio of possion showed very small changes depending on the UV exposure time, there was no significant change in general. After static tensile tests, the type of damage that occurred in single lap joints samples was generally the combined damage type.

Keywords: UV, bonding joint, composite board, adhesive, mechanical properties, damage type, hardness.

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No		Sayfa
Çizelge 3.1.	UV ışınlarına maruz kalma süreleri ve numunelerin gruplandırılması	35
Çizelge 4.1.	Kompozit levhaların UV ışınlarına maruz kalma sürelerine bağlı olarak mikro-sertlik ölçüm cihazından elde edilen sertlik değerleri	47
Çizelge 4.2.	Yapıştırıcı numunesinin UV ışınlarına maruz kalma sürelerine bağlı olarak mikro-sertlik ölçüm cihazından elde edilen sertlik değerleri	48
Çizelge 4.3.	Kompozit levhaların UV ışınlarına maruz kalma sürelerine bağlı olarak elde edilen mekanik özellik değerleri	52
Çizelge 4.4.	Yapıştırıcı numunelerinin UV ışınlarına maruz kalma sürelerine bağlı olarak elde edilen mekanik özellik değerleri	53
Çizelge 5.1.	Kompozit levhaların ve yapıştırıcı numunelerinde sertlik değerlerindeki yüzdelik değişimler	58
Çizelge 5.2.	Tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerinde hasar yükü değerlerindeki yüzdelik değişimler	60
Çizelge 5.3.	Kompozit levha numunelerinde elastite modülü değerlerindeki yüzdelik değişimler	62
Çizelge 5.4.	Yapıştırıcı numunelerinde elastite modülü değerlerindeki yüzdelik değişimler	63
Çizelge 5.5.	Kompozit levha numunelerinde possion oranı değerlerindeki yüzdelik değişimler	65
Çizelge 5.6.	Yapıştırıcı numunelerinde possion oranı değerlerindeki yüzdelik değişimler	66
Çizelge 5.7.	Kompozit levha numunelerinde kayma modülü değerlerindeki yüzdelik değişimler	67
Çizelge 5.8.	UV ışınlarına maruz kalan tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerinde ortaya çıkan hasar tipleri	69

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 3.1.	Kompozit Malzemelerin kullanım alanı olarak askeri araçlar	12
Şekil 3.2.	Boeing 787 uçağında kullanılan kompozit malzeme miktar	16
Şekil 3.3.	Bir arabada kompozit malzeme kullanımı	17
Şekil 3.4.	Bir rüzgar türbin kanadında kompozit malzeme kullanımı	20
Şekil 3.5.	Genel yapışma bağlantısı tipleri	21
Şekil 3.6.	Adhezyon ve kohezyon kuvvetleri	22
Şekil 3.7.	Bindirmeli bağlantı	24
Şekil 3.8.	Eğimli bindirmeli bağlantı	24
Şekil 3.9.	Alın Alına bağlantı	24
Şekil 3.10.	Tek destek elemanlı ile bindirmeli bağlantı	24
Şekil 3.11.	Çift destek elemanlı bindirmeli bağlantı	25
Şekil 3.12.	Eğimli çift destek elemanlı bindirmeli bağlantı	25
Şekil 3.13.	Çift bindirmeli bağlantı	25
Şekil 3.14.	Basamak şeklinde bindirme bağlantısı	26
Şekil 3.15.	1 yönünde tek eksenli yükleme	26
Şekil 3.16.	45˚ yönde tek eksenli yükleme	27
Şekil 3.17.	Kuvvetin bir bilye yardımı ile numuneye batırılması	28
Şekil 3.18.	Elmas piramidin batırılma şekli	29
Şekil 3.19.	Elektromanyetik spektrum	30
Şekil 3.20.	Işık spektrumu	31
Şekil 3.21.	Elektromanyetik spektrumdaki ışınlar ve dalga boyları	31
Şekil 3.22.	Deneysel çalışmada kullanılacak numune boyutu	33

Şekil 3.23.	Tek tesirli bindirme yapıştırma bağlantısı geometrisi	34
Şekil 3.24.	120 cm x 50cm x 30cm boyutlarında ahşap kapalı bir kutu	36
Şekil 3.25.	Elektrikli testere yardımı ile levhaların kesilmesi	37
Şekil 3.26.	Çizim ve zımparalama işlemi	37
Şekil 3.27.	Zımparalanan numunelerin aseton ve temiz bez yardımı ile yüzey temizleme işlemi	38
Şekil 3.28.	Yapıştırıcının numunelere sürülmesi	39
Şekil 3.29.	Numunelerin yapıştırma işlemi	39
Şekil 3.30.	Numunelerin yapıştırma işlemlerinin bitmiş hali	40
Şekil 3.31.	Yapıştırıcının kalıp içerisine dökülmüş hali	40
Şekil 3.32.	Numunelerin UV test cihazına yerleştirilmesi	41
Şekil 3.33.	Numunelerin UV ışınlarına maruziyeti	41
Şekil 3.34.	Numunelere gerinim pulu yapıştırılmış hali	42
Şekil 3.35.	Numunelerin mikro-sertlik ölçüm cihazına yerleştirilmesi	42
Şekil 3.36.	Numunelerin her iki çeneye bağlanışı	43
Şekil 3.37.	Test cihazından alınan verilerin bilgisayarda kaydedilmesi	44
Şekil 3.38.	Gerinim pulu yapıştırılmış numunelerin statik çekme cihazı ve gerinim pulu cihazına bağlanması	44
Şekil 4.1.	UV ışınlarına maruz bırakılmayan tek tesirli yapıştırma bağlantısının statik çekme deneylerinden elde edilen yük-uzama değerleri	49
Şekil 4.2.	300 saat boyunca UV ışınlarına maruz bırakılan tek tesirli yapıştırma bağlantısının statik çekme deneylerinden elde edilen yük-uzama değerleri	49
Şekil 4.3.	600 saat boyunca UV ışınlarına maruz bırakılan tek tesirli yapıştırma bağlantısının statik çekme deneylerinden elde edilen yük-uzama değerleri	50
Şekil 4.4.	900 saat boyunca UV ışınlarına maruz bırakılan tek tesirli yapıştırma bağlantısının statik çekme deneylerinden elde edilen yük-uzama değerleri	50
Şekil 4.5.	1200 saat boyunca v ışınlarına maruz bırakılan tek tesirli yapıştırma bağlantısının statik çekme deneylerinden elde edilen yük-uzama değerleri	51

Şekil 4.6. UV ışınlarına maruz kalan kompozit levha numunelerinin gerilme-şekil değiştirme grafikleri 54

Şekil 4.7. UV ışınlarına maruz kalan yapıştırıcı numunelerinin gerilme-şekil değiştirme grafikleri 55

Şekil 5.1. UV ışınlarına maruz kalan kompozit levha ve yapıştırıcıdan elde edilen sertlik değerlerinin grafiği 57

Şekil 5.2. UV ışınlarına maruz kalan tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerinin hasar yükü değerlerinin grafiği 59

Şekil 5.3. UV ışınlarına maruz kalan kompozit levha yapıştırıcı numunelerinin elastite modülleri değerlerinin grafiği 61

Şekil 5.4. UV ışınlarına maruz kalan kompozit levha yapıştırıcı numunelerinin possion oranı değerlerinin grafiği 64

Şekil 5.5. UV ışınlarına maruz kalan kompozit levha numunelerinin kayma modülü değerlerinin grafiği 67

Şekil 5.6. Oda şartlarındaki tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerinde oluşan hasar tipleri 69

Şekil 5.7. 300 saat UV ışınlarına maruz bırakılan tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerinde oluşan hasar tipleri 70

Şekil 5.8. 600 saat UV ışınlarına maruz bırakılan tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerinde oluşan hasar tipleri 70

Şekil 5.9. 900 saat UV ışınlarına maruz bırakılan tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerinde oluşan hasar tipleri 71

Şekil 5.10. 1200 saat UV ışınlarına maruz bırakılan tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerinde oluşan hasar tipleri 71

KISALTMA VE SİMGELER

Ark.	: Arkadaşları
CF/PPS	: Karbon Fiber/ Polifenilen Sülfit
CFRP	: Karbon Fiber Takviyeli Plastik
CTP	: Cam Takviyeli Plastik
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
PLA	: Polilaktik Asit
PMC	: Polimer Matris Kompozitleri
RT	: Oda Sıcaklığı koşulları
UV	: Ultraviole
XRD	: X-Işınları Difraksiyonu
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
ILSS	: Ara Yüzey Kayma Mukavemeti
TTYB	: Tek Tesirli Yapışma Bağlantısı
DSC	: Diferansiyel Tarama Kalorimetrisi
DMA	: Dinamik Mekanik Analizi
FRP	: Fiber Takviyeli Polimer
X_T	: Fiber Takviye Doğrultusunda Çekme Mukavemeti
v_{12}	: Possion oranı
E_{11}	: Fiber Yönündeki Elastisite Modülü
E_{22}	: Fibere Dik Yöndeki Elastisite Modülü
G_{12}	: Kayma Modülü
ε_1	: Fiber Yönündeki Şekil Değiştirme
ε_2	: Fibere Dik Yöndeki Şekil Değiştirme

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler diğer yapı malzemeleri ile kıyaslandığında üstün mukavemet özelliklerinin yüksek olması nedeniyle hızla gelişen ve kullanımı yaygınlaşan bir malzemedir. Bu malzemenin yüksek dayanım, rijitlik ve hafiflik gibi büyük avantajlara sahip olduğu için günümüzde bu malzemeye olan talep giderek artmaktadır. Ayrıca, hafiflik özelliği sayesinde enerji tasarrufu ve verimin yüksek olması sanayide malzeme seçiminde tercih edilme sebeplerindendir. Bu yüzden kompozit malzemeler mühendislik çalışmalarında önemli bir yer tutup, mukavemet özelliklerinin incelenmesi ve iyileştirilmesi büyük ölçüde ivme kazanmıştır.

Kompozit malzemelerin birleştirme yöntemleri genel olarak çözülebilen ve çözülemeyen bağlantılar olmak üzere iki kısımda incelenmektedir. Çözülebilen bağlantılar mekanik bağlantılar olarak da adlandırılıp, bu işlemler pim, cıvata ve perçin gibi yöntemlerle yapılır. Mekanik bağlantıların gerçekleştirilmesi işlemlerinde malzemenin geometrik düzeni bozulduğu için bölgesel gerilme yığılmaları meydana gelir. Mekanik bağlantıların en iyi avantajları kolay çözüne bilirliği, bakım ve tamirat kolaylığı olup çevre şartlarına karşı dirençli olmalarıdır. Çözülemeyen bağlantı işlemlerini genellikle kaynak, lehim ve yapıştırma yöntemleri oluşturur. Kaynak ve lehim gibi bağlantılardan farklı olarak kompozit malzemeler genellikle yapışma bağlantıları ile birleştirilirler. Termoset esaslı kompozit malzemelerde en ideal yapıştırma yöntemi reçine bazlı yapıştırma işlemleridir. Termoset kompoziti oluşturan reçine özelliklerine yakın kimyasal özelliklere sahip reçinelerle üretilen yapıştırıcılar kullanılmaktadır. Yapıştırma yöntemlerinde gerilme yığılmalarının en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Geniş bir malzeme seçeneği, sızdırmazlık, işlem sırasında delik veya çentiğe ihtiyaç duymaması, boşluk doldurabilme gibi avantajları da vardır. Ancak yüzey temizliği ihtiyacı ve kompozit malzemenin yada bağlantı ömrünün çevre şartlarından etkilenmesi gibi dezavantajlar da mevcuttur. Bununla beraber mekanik bağlantılar fiziksel bağlar içerirken yapışma bağlantıları kimyasal bağ içerir. Bu yüzden yapışma bağlantıları üzerinde dış ortam şartlarının etkisinin incelenmesi çok önemlidir.

Yapıştırılan parçaların ve yapıştırıcının mekanik özellikleri yapıştırma bağlantıların mukavemetini belirler. Bu nedenle, yükleme koşullarına uygun yapıştırıcının seçimi ve yapıştırıcının parçalara sağlıklı bir şekilde yapışması son derece

önemlidir. Yapıştırma bağlantılarında, yapıştırıcı bindirme mesafesi uzunluğu, yapıştırıcı kalınlığı, yapıştırılan parçaların geometrik şekli gibi parametreler ve yüzey ön hazırlık işlemleri yapıştırma bağlantılarının dayanımını değiştirebilir (Satı 2018).

Mukavemet değerleri yüksek, hafif ve çevresel şartlara karşı dirençli oldukları için günümüzde kullanımları her geçen gün artan kompozit malzemeleri bir arada tutan yapışma bağlantılarının önemi de artmıştır. Kompozit malzeme kullanılarak üretilen konstriksiyonlar uzay teknolojileri, havacılık sektörü, otomotiv sektörü, inşaat sektörü vs. gibi alanlarda kullanımı artığı için sürekli güneş ışınlarına maruz kalmaktadır. Kompozit malzemeler üzerinde UV ışınlarının maruziyeti malzeme iç yapısında hasarlar meydana getirebilmektedir. Bu yüzden belirli zaman dilimlerinde hem kompozit malzemeler hem de yapışma bağlantıları üzerinde UV ışınlarının etkisinin incelemesi ve araştırılması gerekmektedir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Pillay ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada kumaş takviyeli, termoplastik poliamid 6 matris panellerinin UV ışın maruziyeti ve nem maruziyeti sonrasında statik ve dinamik mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini ele almışlardır. 100 °C'de sıcaklıkta tamamen damıtılmış suya batırılmış C/PA6 için nem alımını değerlendirmek üzere uygulamışlardır. SEM sonuçlarına göre neme maruz kalmanın yüzey mikro çatlaklarının fiber matris ara yüzünden mukavemet düşmelerine neden olduğunu göstermektedir. 100 °C'de neme maruz kaldıktan sonra eğilme mukavemetinin % 45 azalmış ve 600 saate kadar UV ışınlarına maruziyeti ise numunelerin sararmasına ve kristallikte % 40'tan % 44'e yükselmesine neden olmuştur.

Batista ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmanın amacı CF/PPS kompozitlerinin kristallik derecesinin higrotermal, tuz sisi ve ultraviyole/yoğuşma şartlandırması üzerindeki etkisini araştırmışlar. Şartlandırma sonrasında CF/PPS kompozitlerin termal ve mekanik özelliklerindeki değişiklikleri değerlendirmek için DSC ve DMA sonuçları ve Young modülü ve İLSS değerleri kullanmışlardır. Kristallilik derecesi su alımını ve bozulmanın şiddetini etkilediğini göstermişler. Kristaliniteye bağlı olarak mekanik özellik değerleri arasında % 40'a kadar farklılıklar tespit etmişlerdir. Higrotermal ve tuz sisi şartlandırmasında laminatların kristalikleri çoğunlukla bozunmuştur. Buna karşılık, ultraviyole/yoğuşma şartlandırmasında en yüksek kristal içerikli kompozitler daha fazla etkilendiğini göstermişlerdir.

Lu ve ark. (2018) polimerler ve polimer matris kompozitleri (PMC'ler) için yeni bir ultraviyole (UV) hasarı modeli önermişler. Düz ve sinüzoidal polimer yüzeyleri UV yoğunluğu, yüzey topografyası ve maruz kalma süresinin bir fonksiyonu olarak UV hasarları için sayısal olarak modellemişlerdir. UV'ye maruz kalan sinüzoidal epoksi yüzeyler üzerindeki lokal malzeme degradasyon oranlarını sayısal olarak tahmin etmek için tek yönlü bir cam / epoksi kompozitler için deneysel olarak belirlenen UV bozunma oranlarını kullanmışlardır. Bu, pürüzlü polimer yüzeylerdeki UV hasarının yüzey pürüzlülüğünü azaltarak onları düzlemsel hale getirdiğini ve yüzeylerin yerel yüksekliklerinin uçlarında bozulma oranlarının en yüksek olduğunu gösterdiklerini sağlamışlar. Bu daha sonra deneysel olarak düzgün epoksi numunelerini 1000 saat boyunca 80 °C'de havadaki UV'ye maruz bırakarak ve zamanın bir fonksiyonu olarak

yüzey topografilerini tam olarak izleyerek doğrulanmıştır. Epoksinin yüzey pürüzlülüğünün yaklaşık % 12,5 oranında azaldığını göstermişlerdir.

Afshar ve ark. (2015) UV radyasyonunun ve nemin karbon fiber vinilester kompozitlerin eğilme özellikleri üzerindeki tekil ve sinerjistik hasar etkilerini araştırmayı amaçlayan bir dizi deney hakkında rapor sunmuşlardır. Sonuçlar, deniz ortamının neden olduğu hasarın, karbon fiber-vinilester levhaların eğilme dayanımının yaklaşık olarak % 10 ila% 40 arasında azaltabildiğini göstermişlerdir.

Lu ve ark. (2017) polimerlerin ve polimer matris kompozitlerinin (PMC) sinerjistik yaşlanması sırasında UV radyasyonu ve yüksek sıcaklıklarda su yoğunlaşması ile karmaşık hasar süreçleri meydana geleceğini belirtmişler. Hasar, yüzey mikro partiküllerinin oluşumu ve daha sonra yavaşça hareket eden su ile çıkarılmasıyla ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Partikül giderimi malzemelerin genel bozunma sürecini önemli ölçüde hızlandırır. Bu araştırmada, UV ve suyun sinerjistik yaşlanmasından etkilenen polimerik malzemelerden mikro partiküllerin uzaklaştırılmasını açıklamak için hidrodinamik etkiler üzerinde analizler yapılmıştır. Yavaş hareket eden su tarafından üretilen viskoz kayma gerilmeleri polimer yüzeyleri üzerinde yüzey morfolojisi, akış hızları ve hacimsel kuvvetlerin bir fonksiyonu olarak belirlemişlerdir. Daha sonra, Johnson-Kendall-Roberts (JKR) modeli ve hamaker yaklaşımı kullanılarak hesaplanan yapışma kuvvetleri ile yavaş su akışlarının yarattığı sürtünme kuvvetleri karşılaştırılarak yeni bir mikro partikül giderme mekanizması önermişlerdir. Deneysel bölümde, partikül çıkarma mekanizması, eğimli tek yönlü bir cam / epoksi yüzeyi üzerinde, suyun yerçekimi akışına maruz kalan rastgele dağıtılmış epoksi partikülleri ile doğrulanmıştır. Polimer partiküllerinin polimer / kompozit yüzeyler üzerindeki hareketinin, partikül boyutlarına, su hızına ve yüzey morfolojisine büyük ölçüde bağlı olduğu gösterilmiştir. Bu çalışmada sunulan araştırma, zaman zaman yavaş su akışları durumlarında UV tarafından polimer ve GRP (Cam Elyaf Takviyeli Polyester) bozulmasının neden sadece daha önce yaptıkları çalışmada raporlanan UV radyasyonuna maruz kalmasından çok daha hızlı olduğunu açıklamışlardır.

Lv ve ark. (2016) hızlandırılmış ayrışma süresi ve gliserolün nişasta / odun unu / pla kompozitlerinin fotodegradasyon davranışı üzerindeki etkisi araştırmışlardır. XRD

ile karakterize edilen kırınım pikleri yoğunluğunun azalması kristal yapının hasar gördüğünü göstermiştir. FTİR ile karakterize edilen kimyasal yapı değişiklikleri karboksilik asit oluşumunu göstermiştir. % 15 gliserol ile kompozitin absorbans yoğunluğunun azalması, gliserolün kompozitlerin UV dayanıklılığı üzerinde stabilize edici bir etkiye sahip olduğunu kanıtlamışlardır. Ayrışmadan sonra, maksimum ayrışma sıcaklığı, zincir yarılması nedeniyle belirgin bir şekilde azalmıştır. Uzun süreli ayrışma süresi ile gerilme ve eğilme dayanımları kademeli olarak azaldığını göstermişlerdir.

Liau ve Tseng (2014) ultraviyole ışık ve termal şokun polimer matris kompozitlerinin havadaki ve "vakum sistemine yakın" fiziksel özellikleri üzerindeki tekil ve kombine etkilerini araştırmışlardır. En uzun maruz kalma süresi 180 gündür. Kompozitlerin ağırlık kaybının UV ışınlarına maruz kalma süresi ile arttığını tespit etmişlerdir. Grafit / epoksi sisteminde, havadaki ağırlık kaybı, "neredeyse vakum sistemine" göre 2-3 kat daha fazla olduğunu bulmuşlardır. Benzer şekilde, havadaki cam / epoksi sisteminin ağırlık kaybı, "neredeyse vakum sistemine" kıyasla 3-6 kat daha fazladır. Cam / epoksi sisteminin ağırlık kaybı daima grafit / epoksi sistemininkinden daha büyük olmuştur. Her durumda, UV ışıması ve 1000 kat termal şok kırılma mekanizmasını değiştirmediğini, fiberlerde kısalma oluşturduğunu ve sürekli kırılgan bir kırılma oluşturmuştur. UV radyasyonuna maruz kalmış yüzeylerde taramalı elektron mikroskopisi ile yüzey erozyonu gözlemlemişlerdir. Hem grafit / epoksi hem de cam / epoksi kompozitlerde, ışınlama ortamına bakılmaksızın artan ışınlama süresi ile gerilme mukavemeti azaldığını bulmuşlardır. Sem ile, cam / epoksi sisteminin 1 aydan fazla havada ve 1000 kat termal şokla ışınlanan yüzey ve yan yüzeylerinde çatlaklar görülmüştür. Yani, UV ışığı numuneye derinlemesine nüfuz edemediği için sadece numunenin yüzeyi etkilenmiştir. UV radyasyonu, termal şok yoluyla yayılan mikro çatlakları artırmıştır. SEM ile, cam / epoksi sisteminin 1 aydan fazla havada ve 1000 kat termal şokla ışınlanan yüzey ve yan yüzeylerinde çatlaklar olduğunu bulmuşlardır.

Lopez ve ark. (2015) nem, sıcaklık ve ultraviyole (UV) ışığın doğal elyaf-plastik kompozitlerin (NFPC) performansı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Laboratuvarda kısa süreli testler, doğal maruziyet altında uzun süreli testler yapıp kompozit numunelerde mekanik özelliklerde ve renkteki değişimleri ölçmüşlerdir. Kompozit malzemelerin kimyasal değişiklikleri, malzeme yüzeyindeki kimyasal dönüşüm mekanizmalarını aydınlatmak için x ışını fotoelektron spektroskopisi ile ölçmüşlerdir.

Bağıl nem rüptür modülünü (MOR) ve elastite modülünü (MOE) büyük ölçüde etkilemiş ve kompozitin performansı üzerinde sıcaklık ve UV maruziyetinden daha büyük bir etkiye sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Kompozitin hafifliği, kısa ve uzun vadeli testlerde UV etkisi ile arttırılmıştır. X ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) analizi, kompozitin UV emici tarafından korunduğunu ortaya çıkarmışlardır.

Kumar ve ark. (2002) ultraviyole radyasyona ve yoğunlaşmaya maruz kalan İM7 / 997 karbon fiber takviyeli bir epoksinin bozulması karakterize etmişlerdir. Fiziksel ve kimyasal bozulma gözlemlerine dayanarak, bu ortamların, epoksi matrisin aşırı erozyonuna neden olan, mekanik özelliklerde bir azalmaya neden olan sinerjistik bir şekilde çalıştığı tespit edilmiştir. Matrisin baskın olduğu özellikler en çok etkilenir, enine gerilme mukavemeti UV radyasyonuna ve yoğunlaşmaya sadece 1000 saatlik döngüsel maruziyetten sonra % 29 azalmıştır. Boyuna lif baskın özellikleri araştırılan maruziyet sürelerinden etkilenmezken, yoğun matris erozyonunun nihayetinde takviye edici elyaflara etkili yük transferini sınırlayacağı ve elyaf baskın malzeme yönü boyunca bile mekanik özelliklerin bozulmasına yol açacağı kaydetmişlerdir.

Nguyen ve ark. (2012) UV ve termal maruziyetinden sonra birleştirilen çelik ve CFRP arasındaki mekanik özzeliklerini araştırmışlar. Numune grubu içerisinde epoksi yapıştırıcı, CFRP laminatlar ve çelik / CFRP yapıştırıcı ile birleştirilen eklemler çeşitli zaman süreleri boyunca UV'ye maruz bırakılmış ve aynı numuneler sadece UV'siz termal ortamlara maruz bırakılmıştır. UV'ye maruz kalmanın CFRP kompozitlerin çekme mukavemetini etkilemediği bulmuşlardır. Yapıştırıcının gerilme mukavemeti % 13.9 azalırken, elastite modülü ise 744 saatlik maruziyetten sonra % 105 oranında önemli bir artış göstermiştir. Sadece termal ortama maruz kalan yapıştırıcı elastite modülü de UV ışınlarına bağlı olarak % 38 oranında artış tespit etmişlerdir. Sadece termal ortama maruz kalan yapıştırıcı elastite modülü de UV ışınlarına bağlı olarak % 38 oranında artığını bulmuşlardır.

Signor ve ark. (2003) UV yoğuşma odası kullanılarak düzgün vinil ester matris numuneleri mekanik özelliklerin değişimi üzerindeki etkileri araştırmışlardır. 1000 ve 4000 saatlik maruziyetten sonra vinil ester kompozitlerin mekanik özellikleri, yüzey kimyası ve yüzey morfolojisinde önemli değişiklikler gözlemlemişlerdir. Hafif süneklikten kırılgan davranışa bir geçiş ile birlikte ortalama gerilimde hasarın % 40'a

kadar bir azalma ve maruziyetten sonra ortalama özgül sertlikte % 60'a kadar bir azalma gözlemlemişlerdir. Maruz kaldıktan sonra yüzeyin sertlik ve elastite modülündeki değişiklikler bir atomik kuvvet mikroskobu (AFM) nanoindentasyon tekniği kullanarak incelemişlerdir. Optik mikroskopi ve kılavuz çekme modu AFM kullanılarak maruz kalan yüzeydeki yüzey hasarlarının sayısında ve boyutunda bir artış da dahil olmak üzere morfolojik değişiklikler gözlemlemişlerdir. Açıkta Kalan yüzeylerdeki kimyasal değişiklikler fourier dönüşümü kızılötesi zayıflatılmış toplam yansıtma (FTİR-ATR) spektroskopisi ve x-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) kullanılarak da gözlemlemişlerdir.

Yan ve ark. (2015) ultraviyole (UV) radyasyonu ve su püskürtmenin, keten kumaş takviyeli epoksi kompozitin mekanik özellikleri üzerindeki birleşik etkisini ve inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılan bu kompozitin dayanıklılık performansını değerlendirmek için araştırmışlardır. Elle serme işlemi ile imal edilen numuneler, 1500 saat boyunca hızlandırılmış bir ayrışma odasında maruz bırakıldıktan sonra mekanik özellikleri incelemek için çekme ve üç noktalı eğilme testleri yapmışlardır. Kompozitlerin mikro yapılarını analiz etmek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanmışlardır. Ek olarak, keten / epoksi kompozitin dayanıklılık performansı sentetik (cam ve karbon) ve hibrit fiber takviyeli kompozitler ile karşılaştırmışlardır. Test sonuçları, yıpranmış kompozitlerin çekme mukavemetinin ve elastite modülünün sırasıyla % 29.9 ve % 34.9 azaldığını göstermişlerdir. Eğilme mukavemeti ve elastite modülü sırasıyla % 10.0 ve % 10.2 azalmıştır. SEM çalışması ile maruziyetten sonra fiber / matris ara yüzey bağlanmasındaki bozulma doğrulanmıştır

Turan (2016) kompozit levhalarda yapışma bağlantılarının mukavemeti üzerine yama fiber takviye açısının etkileri deneysel yöntemlerle araştırmıştır. [θ°] 8 tabakalı örgülü cam elyaf takviyeli epoksi matriks reçineli kompozit levhalar epoksi bazlı yapıştırıcı kullanarak birleştirmiştir. Statik çekme deneyi ile yapılan deneysel çalışmada yama takviye açısının, yama uzunluğunun ve yapıştırıcı kalınlığının etkilerini araştırmıştır. Kompozit levhanın fiber takviye açısı olarak 0° ve yamanın fiber takviye açısı 0°, 15°, 30° ve 45° olarak seçilmiştir. Yama uzunluğu olarak 25.4, 38.1 ve 50.8 mm ve yapıştırıcı kalınlığı 0.2, 0.6 ve 1.0 mm olarak seçilmiştir. Bağlantı mukavemetinin yama fiber takviye açısı ile önemli oranda değiştiği belirlemiştir. Yama uzunluğu artışının bağlantı mukavemetini % 10 ile % 45 arasında değişen oranlarda

arttırdığı tespit etmiştir. Çift yüzünden yapışmanın tek yüzünden yapışmaya oranla hasar yüklerini %73 ile % 160 arası değişen oranlarda arttığı belirlenmiştir. Yapıştırıcı kalınlığının artmasına bağlı olarak da hasar yüklerinin %11 ile % 30 arasında değişen oranda azaldığı ortaya çıkmıştır.

Zaman ve ark (2009) jüt kumaşları takviyeli termoset kompozitler, üretan akrilat oligomer, metanol ve benzil peroksit kullanarak farklı formülasyonlarla hazırlamışlardır. Jüt kumaşlar hazırlanan formülasyonlara batırılmış ve kompozitlerdeki fiber içeriği mekanik özellikler ile optimize etmişlerdir. Elde edilen tüm kompozitler arasında oligomer: metanol: benzil peroksit = 75: 24.5: 0.5 (w/w/w) oranında ağırlıkça % 55 jüt içeriği en iyi mekanik özellikleri gösterdi. Optimize edilmiş jüt kumaşlar UV radyasyonu altında farklı yoğunluklarda sertleştirildi ve mekanik özellikleri ölçüldü. Jüt kumaşlar, kompozit imalattan önce farklı ıslatma süreleri (1-5 dakika) için farklı konsantrasyonlarda (ağırlıkça % 0.01, 0.02, 0.03 ve % 0.05) potasyum permanganat (kmn04) çözeltisi ile muamele edildi. Optimize edilmiş jüt kumaşlar (2 dakika bekletme süresi için ağırlıkça % 0.02 kmn 04 ile muamele edilmiş jüt kumaşlar), optimize edilmiş formülasyona batırılmış ve farklı yoğunluklarda UV radyasyonu altında sertleştirilmiştir ve mekanik özelliklerini de ölçmüşlerdir. Taramalı elektron mikroskobik araştırması, yüzey modifikasyonunun lif / matris yapışmasını geliştirdiğini göstermiştir. İşlenmiş ve işlenmemiş kompozit numunelerin su alma ve toprak bozulma testi de yapmışlardır.

Turan ve kaman (2010) bu çalışmada, deneysel ve sayısal yöntemler kullanılarak iki kompozit parçanın birleştirilmesi için yapıştırıcı kullanarak elde edilen tek tesirli yapıştırma bağlantısının hasar analizini yapmışlardır. İki kompozit malzemenin bağlantısının yapılması için yapıştırıcı olarak epoksi reçine kullanılırken, yapışkan olarakta karbon fiber takviyeli epoksi reçine matriksli kompozit levhalar kullanmışlardır. Çözüm yapılırken sonlu elemanlar analizinden kullanılan Ansys programından yararlanmışlar. Malzemede meydana gelen hasar yükünün tespiti için izlenilen yöntem malzeme hasar analizi metodunun malzeme indirgeme kurallarıyla birlikte kullanılmasıdır. Kompozit levhada hasar analizi yapılırken hashin hasan teorisi kullanırken, yapıştırıcı için de maksimum asal gerilme teorisi kullanmışlardır. Bağlantı kalınlığı bindirme uzunluğu ve plaka genişliğinin bağlantının mukavetine etkisi sayısal çözüm yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Yapılan incelemeler yapışma yüzey alanında meydana gelen değişimin hasar yüklerine de etki ettiği tespit etmişlerdir.

Bindirme yükü 2.5 kat artarken hasar yükünün doğru orantılı bir şekilde artmadığı görülmüştür. Kalınlığı 0.1 mm olan yapıştırıcının kalınlığı 4 kat artarak 0.4 mm olmuştur. Hasar yükünün, yapıştırıcı kalınlığına oranla değişmemesi yapıştırıcı kalınlığının hasar yüküne etki etmediği sonucunu ortaya çıkarmıştır.

Kırkayak (2017) Yaptıkları bu çalışmada tek tesirli bağlantılarda farklı geometriler ve iki farklı yapıştırıcı hibrit yapıda kullanılarak numune üzerindeki gerilme dağılımına olan etkisini sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelemiştir. Yapılan deneyler sonucunda iki farklı yapıştırıcının hibrit olarak kullanılması ve farklı geometrik desenlerin kullanılması, tek tip ve aynı yapıştırıcı kullanıldığı duruma göre bağlantı noktalarında oluşan soyulma ve kayma gerilmesinin önemli ölçüde azaldığı ve ayrıca gerilme dağılımını önemli ölçüde etkilediğini ortaya çıkarmışlardır.

Kısa ve ark (2017), günümüzde, endüstriyel uygulamaların her geçen gün artması daha iyi özelliklere sahip malzeme gereksiniminin doğmasına neden olmuştur. Bu gereksinimler, daha iyi özelliklere sahip kompozit malzemelerin geliştirilmesine yol açmıştır. Sanayinin tüm alanlarında sıklıkla kullanılan bu kompozitlerin çalıştıkları ortamlarda aşınma etkileri altında nasıl davranış göstereceklerinin önceden tespiti önem arz etmektedir. Buna yönelik olarak bu çalışmada, farklı çevresel (toprak, su, güneş) etkilere belirli sürelerle maruz bırakılmış aramid elyaf takviyeli kompozit malzemelerin kuru kayma şartlarında aşınma davranışları deneysel olarak incelemişlerdir. Kompozit malzemelerin üretiminde vakum destekli reçine infüzyon tekniği (vdrit) kullanılmış olup deneylerdeki aşınma ağırlık kaybı olarak ele almışlardır. Elde edilen değerler karşılaştırılarak çevresel koşulların kompozit malzemelerin aşınma özellikleri üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur. 100 ve 200 gün sürelerle çevresel şartlara maruz kalan; 10 N, 20 N, 30 N gibi yüklerin etkisi altında aşınma deneyine tabi tutulan kompozit malzemenin, önyüzünde aşınma miktarlarında artış gözlemlenirken sürtünme katsayılarında hem artış hem azalış gözlemlemişlerdir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Tanım

Birbirinde farklı fiziksel, kimyasal veya biyolojik özelliklere sahip olan iki yada daha fazla malzemenin bir araya getirilerek hazırlanan malzemelere kompozit malzeme denir. Bu birleştirme işleminden sonra oluşan kompozit malzeme daha güçlü, daha hafif veya elektriğe dirençli gibi mükemmel özellikler oluştururlar. Kullanımlarının nedeni, temel malzemelerinin özelliklerini iyileştirmeleri ve birçok durumda uygulanabilir olmalarıdır.

Bir malzemenin kompozit olduğunu söyleyebilmek için aşağıdaki özellikleri taşıması gerekmektedir (Onat 2015).

- Doğal yollarla değil, yapay yollarla yani insan yapısı olmalı,

- En az iki ya da daha fazla mekaniksel ve fiziksel özellikleri farklı olan malzemelerin bir araya getirilmesiyle olmalı,

- Herhangi bir ana malzemesinin sağlayamadığı özellikleri sağlayabilmeli,

- En uygun özellikleri elde etmek için iki farklı malzeme birleştirilerek kompozit (karma) bir materyal oluşturulmalı,

- Oluşturulan malzemenin özellikleri yüksek olup kendisini oluşturan elemanların en iyi özelliklerini bir arada toplanması gerekir (Onat 2015).

3.1.1. Kompozit Malzeme Yapımında Kullanılan Temel Maddeler

Kompozit malzemelerde takviye malzemesini bir arada tutan maddeye matris denir. Üretim esnasında sıvı olup, daha sonra katı hale kolaylıkla geçebilmelidir.

Matris malzemenin ara yüzlerini doldurup kompozit malzemenin en önemli mukavemet elemanına fiber denir. Ayrıca lif veya elyaf olarak adlandırılırlar.

Matrisin kompozit yapılar üzerinde üç temel işlevi vardır. Bunlar, yükü fiberlere dağıtmak fiberleri bir arada tutmak ve fiberleri çevresel faktörlerden korumaktır. Kompozit malzemelerde matrisin mekanik özellikleri sayesinde yükü taşıyan fiberler fonksiyonlarını iyi bir şekilde yerine getirmelerinde yardımcı olurlar. Yani matris sayesinde yük fiberlere eşit bir şekilde dağılacaktır. Kompozit malzemelerin mukavemet

özelliklerini belirten ana kriterler; matrisin mekaniksel özellikleri, lif ile matris arasındaki bağ kuvvetleri ve fiber yönünün dik doğrultusudur.



Şekil 3.1. Kompozit Malzemelerin kullanım alanı olarak askeri araçlar (Gülmez 2018)

3.1.2. Kompozit Malzemelerin Avantajları

Kompozit malzemeler için en önemli avantajları şu şekilde sıralayabiliriz:

1. Kompozit malzemeler mekaniksel ve fiziksel özellikleri sayesinde çoğu metalin yerine kullanılabilir.

2. Kompozit malzemeler eğilme dayanımları çok yüksek olup kendisiyle aynı eğilme dayanımına sahip geleneksel çelikten 5 kat alüminyumdan 2 kat daha hafiftirler.

3. Kompozit malzemelerin yoğunluk- dayanım (özgül) oranları yüksek olup polimer matrisli özgül dayanım değerleri çelik ve alüminyum alaşımlarına göre 3 ile 5 kat daha büyüktür.

4. Yorulma dayanımı kompozit malzemelerde oldukça yüksek olup bazı epoxy karbon kompozitler çelik ve alüminyum alaşımlarına göre % 40'lara varan daha iyi yorulma dayanımı değerleri sunabilmektedir.

5. Kompozit malzemeler korozyona karşı çok dirençlidir.

6. Üstün elektriksel özelliklere sahip kompozit ürünler elde edebilmek için doğru matriks ve takviye elemanı seçimi yapılmalıdır. Uygulamaların farklılaşması ile kompozit malzemeler yalıtkan ve iletken üretilebilir.

7. Kompozit malzemeler çevresel etkilerden ve çoğu kimyasallardan uzun süre etkilenmezler. Sıvı ve kimyasal depolar, boru ve havalandırma kanalları, tekne, deniz

taşıtları ve uzay sanayisi gibi alanlarda özellikle yüksek korozyon ve kimyasal dirençleri sayesinde kompozit malzemeler avantajlı duruma gelmektedir.

8. Kompozit malzeme bileşenleri arasında ısıl iletim katsayısı düşük malzemelerden seçildiği takdirde yüksek ısı altında çalışabilen, ısıya dayanıklı kompozitler elde edilir. Bu uygulamalar için en iyi seramik martisli kompozitlerdir.

9. Bazen geleneksel malzemeler ile üretilemeyen parçalar perçin ya da kaynak yapılmaksızın kompozit malzemeler ile elde edilebilir. Üretimin tek parça halinde olması güvenilirliği artırmakta ve zaman tasarrufunu sağlamaktadır.

10. Kompozit malzemelerde parça sayısı azaltılarak montaj sürelerinin kısaltılması düşük maliyetle üretim imkanı verir.

11. Kompozit malzemeler yüksek darbe dayanım özelliğine sahiptirler. Özellikle karbon ve cam takviyeli kompozitler çelik ve alüminyum malzemelere oranlar daha yüksek darbe dayanımına sahiptirler.

12. Kompozit malzemeler süneklik özelliklerine sahip oldukları için ses ve titreşim özellikleri çok iyidir. Kompozit malzemeler titreşimleri metallerden çok daha iyi sönümlemekte ve olası şokları yutabildikleri için oluşabilecek çatlakların ilerlemesi de minimize edilmektedir.

13. Cam ve aramid takviyeli fenolik kompozitler düşük gaz ve ağılılık (zehirlilik) özelliklerine sahiptirler.

14. Kompozit malzeme üretiminde metallere göre daha az sıcaklık ve basınca ihtiyaç duydukları için üretim makineleri için yapılan yatırım maliyetini azaltır.

3.1.3. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları

Kompozit malzemeler birçok önemli avantaja sahip olmasına rağmen bazı dezavantajlara da sahiptir. Bu dezavantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Çoğu kompozit malzeme anizotoprik olup birçok yönlüdür. Buda kompozit malzemenin farklı doğrultuda farklı mekanik özellikler göstermesine neden olur.

2. Kompozit malzeme içerisinde oluşan çatlak ve hava kabarcıkları kompozit malzemelerin yorulma dayanımını negatif yönde etkiler.

3. Kompozitlere malzeme maliyeti açısından bakıldığında, hammadde maliyetleri geleneksel malzemelere oranla çok daha fazladır. Çünkü bir kompoziti oluşturan malzemeler birden fazladırlar ve ayni zamanda üretim adetleri düşüktür. Bu nedenle de birim başına düşen malzeme maliyeti oldukça fazladır.

4. Kompozit malzemelerin önündeki büyük engellerin bazıları üretim yöntemleri ve üretile bilirliklerindeki güçlüklerdir. Daha önceki zamanlarda kompozit malzemeler, sadece büyük yapıların üretiminde ve günde 1 ila 3 parça gibi düşük sayılarda kullanılıyordu. Kompozit malzemeler yüksek adetli üretim yöntemlerinin eksikliğinden dolayı yaygın bir şekilde kullanılamıyorlardı. Tepkimeli enjeksiyon kalıplama, pultruzyon, fiber sarma, basınçlı kalıplama ve transfer kalıplamaya benzer üretim yöntemleriyle son zamanlarda makineleşme devrim gerçekleştirmiş ve bunun sonucunda yüksek kompozit malzemelerde yüksek üretim miktarlarına ulaşılabilmiştir. Örneğin, otomotiv sektöründe kompozit parçalara duyulan üretim ihtiyaç miktarı günde 100 ile 20,000 arasında değişmektedir. Örneğin golf sopasına benzer spor malzemelerinde günlük 10, 000 parça gibi yüksek üretim adetlerine sahiptirler.

5. Kompozit malzemeler (delik delme, kesme, talaş vb.) kolay işlenemeyen malzemelerdir. Yüksek yüzey kalitesine ulaşma açısından kompozit malzemeler diğer malzemelerle kıyaslandığında, kompozit malzemelerde yüksek yüzey kalitesine ulaşmak çok daha güçtür.

6. Geleneksel malzemelerle üretim ve tasarım yapılırken hazır bulunan makinelerden, metal el kitaplarından ve veri tabanlarından faydalanılmaktadır. Tradisyonel malzemeler ile tasarım yapılırken hali hazırda bulunan birçok kaynak ve veri tabanı mevcuttur. Kompozit malzemelere gelindiğinde ise bu tarz kitap ve veri tabanlarının yetersizliği görülmektedir.

7. Bir kompozit malzemesinde kullanılan matris malzemesinin termal dayanımı ne kadar kuvvetli olursa, kompozit malzemelerin de ayni şekilde o kadar dayanıklı olur. Kompozit malzemelerin termal dayanımları plastiklerin özellikleri yüzünden azdır. Çünkü kompozit malzemelerin birçoğunda polimer matrisler kullanılmaktadır.

8. Kompozit malzemenin çözücülere, kimyasallara karşı dayanıklılığı ve çevresel faktörler altında gösterdikleri özellikleri kullanılan matrisin özelliklerine

bağlıdır. Bazı kompozit malzemelerin bu gibi çevresel faktörler altındaki dayanaklıkları zayıftır.

9. Kompozit malzemelerin bazıları havada bulunan nemi emerler. Bu durum da kompozit malzemelerin sergiledikleri özelliklere ve boyutsal kararlılıklarına etki etmektedir.

10. Kompozit malzemelerden bazıları darbelere karşı çok dayanıklı değillerdir ve kolayca hasar görebilmektedirler. Çünkü kompozit malzemelerin kırılgan yani hassas bir yapıya sahip olmalarından kaynaklıdır. Bu tür kompozit malzemelerin onarılması zordur ve bunlar aynı zamanda farklı problemlerde ortaya çıkarmaktadırlar.

11. Kompozit malzemeler kopma anında çok az bir uzama gösterirler. Bu özellikte kompozit malzemelerin kullanılmalarına bir limit koymaktadır.

12. Bazı kompozit malzemelerin (özellikle polimer matrisli) üretimi yapılırken, bu malzemelerden doğaya insan sağlığına oldukça büyük zarar veren ve kansere sebep olan gazlar salınabilmektedir.

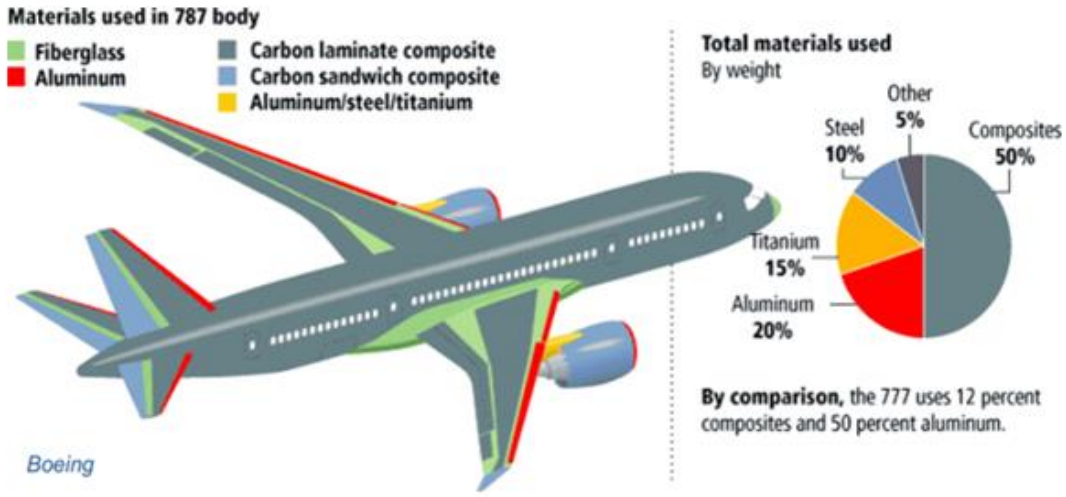
13. Kompozit malzemeler diğer konvansiyonel malzemelerle kıyaslandığında kompozit malzemeler daha az dönüştürülebilir özelliğe sahiptirler. Buda kompozit malzeme kullanımının önündeki en büyük engel olarak görülmektedir. Çünkü günümüzde geri dönüşüm olgusu çok büyük bir önem arz etmektedir.

3.1.4. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Teknolojinin gelişmesi ile beraber kompozit malzemelerin kullanım alanları sürekli artış eğilimindedir. Bu yüzden çoğu sektörde kompozit malzemeler üzerinde bilimsel çalışmalar hala devam etmektedir. Birçok sektör için kompozit malzemelerin tasarım kolaylığı ve çeşitlilik özellikleri sayesinde kompozitler, birçok sektörün farklı ihtiyaç ve beklentilerini karşılayabilmektedirler. Bazı sektörlerde hammadde olarak kullanılması yanı sıra üretimde yardımcı eleman olarak da kullanılabilmekteler. Kompozit malzemelerin kullanıldığı başlıca sektörler aşağıdaki gibidir.

3.1.4.1. Havacılık ve Uzay Sektöründe Kompozit Malzeme Kullanımı

Kompozit malzemeler havacılık alanında motor bıçakları, braketler, iç mekanlar, naceller, pervaneler / rotorlar, tek koridor kanatları, geniş gövde kanatları gibi uygulamalarda kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Boeing 787 uçağında kullanılan kompozit malzeme miktarı (Ulaş 2019)

Havacılık alanında malzemelere yerleştirilen performans kriterleri diğer alanlardan çok daha büyük olabilir ve temel hususlar hafif, yüksek mukavemetli, yüksek sertlik ve iyi yorulma direncidir. Kompozitler, teknoloji ticari uçaklara uygulanmadan önce ordu tarafından kullanıldı. İlk askeri uygulamalar radomlarda, sonra ikincil yapılarda ve iç bileşenlerde gerçekleşti. Diğer Örnekler: Airbus industries A320 ve A380, harrier AV-8B, Avrupa avcı uçağı (EFA), uçak pervaneleri, helikopter uçakları, helikopter rotor kanatları ve helikopter rotor göbekleridir.

Kompozitlerin füzelere başarıyla uygulanması uzay araçları için birincil yapıların geliştirilmesine yol açmıştır. Aslında, uzay uygulamaları yeni malzemelerin kullanımına birçok şekilde katkıda bulunmaktadır. Karbon fiber kompozit (CFRP) çoğunlukla uzay uygulamalarında kullanılır. Geniş bir sıcaklık aralığında çok yüksek sertlik ve mükemmel termal kararlılık potansiyeli gösteren CFRP'ler uzay uygulamaları için ideal malzemelerdir. Uygulama örnekleri şunlardır: manipülatör kolları, anten reflektörleri, güneş dizi panelleri ve optik platformlardır. Bugünlerde uydu alt yapı sistemleri kompozit malzemelerden inşa ediliyorlar.

3.1.4.2. Otomotiv Sektöründe Kompozit Malzemelerin Kullanımı

Kompozitler otomotiv uygulamalarında sunduğu başlıca avantajlar maliyet azaltma, ağırlık azaltma ve geri dönüştürülebilirliktir. Kompozitler, geleneksel çelik ve enjeksiyon kalıplı otomotiv parçalarına göre birçok yapısal ve ağırlık avantajı sunar.

Termoplastik malzemeler termoset esaslı kompozitlere kıyasla otomotiv endüstrisinin temel avantajlarını olan sıfır çözücü emisyonları, azaltılmış malzeme

miktarı, gelişmiş iş güvenliği koşulları, boyama adımlarının ortadan kaldırılması (yüksek moleküler ağırlıklı polimer yüzey filmlerinin kullanılmasıyla), sıkıcı üretimin ortadan kaldırılması otomasyon yoluyla adımlar ve büyük ölçüde iyileştirilmiş geri dönüştürülebilirliktir.



Şekil 3.3. Bir arabada kompozit malzeme kullanımı

3.1.4.3 İnşaat Sektöründe Kompozit Malzemelerin Kullanımı

İnşaat sektörü 1960'lardan bu yana fiber takviyeli polimer kompozitleri (FRP) kullanılmaya başlamıştır. Uygulama alanları olarak yük taşıma ve dolgu panelleri, basınçlı borular, tank astarları ve çatılar gibi uygulamalarda başarıyla kullanılmaktadır. FRP'ler estetik bir amaca sahip oldukları için son yıllarda yaya, karayolu ve demiryolu köprüsü sistemleri de dahil olmak üzere tüm kompozit yapıların oluşturulmasında kullanılmıştır. Kompozitlerin inşaatta kullanılmasının temel nedenleri şunlardır:

- Zamandan tasarrufu dar projelerde hızlı inşaat için düşük ağırlık,

- Dayanıklılık - özellikle zorlu ortamlarda hayatta kalabilir,

- Onarım - yerinde yapıların onarımına izin vermek için,

- Güçlendirme - yerinde yapıların güçlendirilmesi

- Kişiye özel özellikler - bir yönde özellikle yüksek performansın gerekli olduğu yerler,

- Görünüm - belirli bir renk, şekil veya dokunun gerekli olduğu yerlerde,

- Patlama / yangın - patlama veya yangın direncinin gerekli olduğu yerlerde,

- Düşük bakım - zor erişimin bakımı zorlaştırdığı durumlar.

FRP kompozitlerinin inşaatta ana uygulama alanları şunlardır: kaplama, kubbeler, çatı yapıları, köprü güverteleri, direkler, kuleler, altyapı tanklar, sıhhı tesisat sisimik güçlendirme ve erişim kapakları gibi yapılarda kullanılır.

3.1.4.4. Tüketim Sektöründe Kompozit Malzemelerin Kullanımı

Fiber takviyeli polimer kompozitler (FRP'ler) özellikle spor ve eğlence endüstrilerinde tüketim malları için giderek daha fazla kullanılmaktadır.

Eğlence endüstrisi, hem karbon hem de cam olmak üzere en büyük kompozit tüketicilerinden biridir. Hafiflik ve sertlik özellikleri sayesinde performanstaki iyileşmeler, tüketici odaklı pazarın büyümesine yol açmıştır. Kompozit golf kulüpleri, okçuluk yayları, oltalar, raketler ve kayaklar kompozit yapılardan oluşmuştur.

Son gelişmeler arasında bisikletler ve birçok profesyonel bisikletçi hafif, olağanüstü sert ve aerodinamik karbon takviyeli kompozit jantlar kullanıyor.

Kompozit uygulamalara örnek olan genel tüketim malları şunları içerir: barbekü, istifleme koltuğu, kalemler, cüzdanlar, mücevher ve valizler vb. gibi ürünlerdir.

3.1.4.5. Savunma Sektöründe Kompozit Malzemelerin Kullanımı

Savunma sektöründe, kara sistemleri, askeri uçaklar, İha'lar, deniz gemileri ve silah gibi uygulamalarda fiber takviyeli polimer kompozitler (FRP'ler) kullanılmaktadır.

Cam takviye plastik kompozitlerin savunma uygulamalarında kullanılmasının temel nedenleri şunlardır;

- Hafiflik.

- Darbe direnci.

- Yüksek gerinim / arıza oranı.

- Koruma özelliklerini artırmak için diğer malzemelerle (örn. Metaller ve seramikler) birleştirilebilir.

- Korozyona dayanıklık.

- İmalat için tasarım.

- Gömülü işlevsellik.

3.1.4.6. Denizcilikte Kompozit Malzeme Kullanımı

Fiber takviyeli polimer kompozitler (FRP'ler), denizcilik uygulamalarında radomlar ve kütle yapıları, süper yatlar, iş tekneleri ve eğlence tekneleri gibi alanlarda uzun yıllardır başarıyla kullanılmaktadır. Son zamanlarda FRP'ler, rulmanlar, pervaneler, ticari kapak kapakları, egzozlar ve üst yapı gibi daha az bilinen uygulamalarda kullanılmaktadır. Kompozitlerin Denizaltı uygulamalarında denizaltı kuyu başları ve vanalar için koruma yapıları olarak işlev görmüştür.

Denizcilik uygulamaları için CTP'nin ana avantajları:

- Çürüme, korozyon vb.

- Kesintisiz, karmaşık şekilli yapıları kalıplayabilme.

- Gücü yükleme koşullarına uygun hale getirme yeteneği.

- Ağırlık özelliklerine karşı mükemmel mukavemet ve CTP deniz yapıları genellikle eşdeğer çelik yapıların ağırlığının yarısı kadardır.

- Düşük bakım ve onarım kolaylığı.

- Mükemmel dayanıklılık.

3.1.4.7. Tıbbi Uygulamalarda Kompozit Malzeme Kullanımı

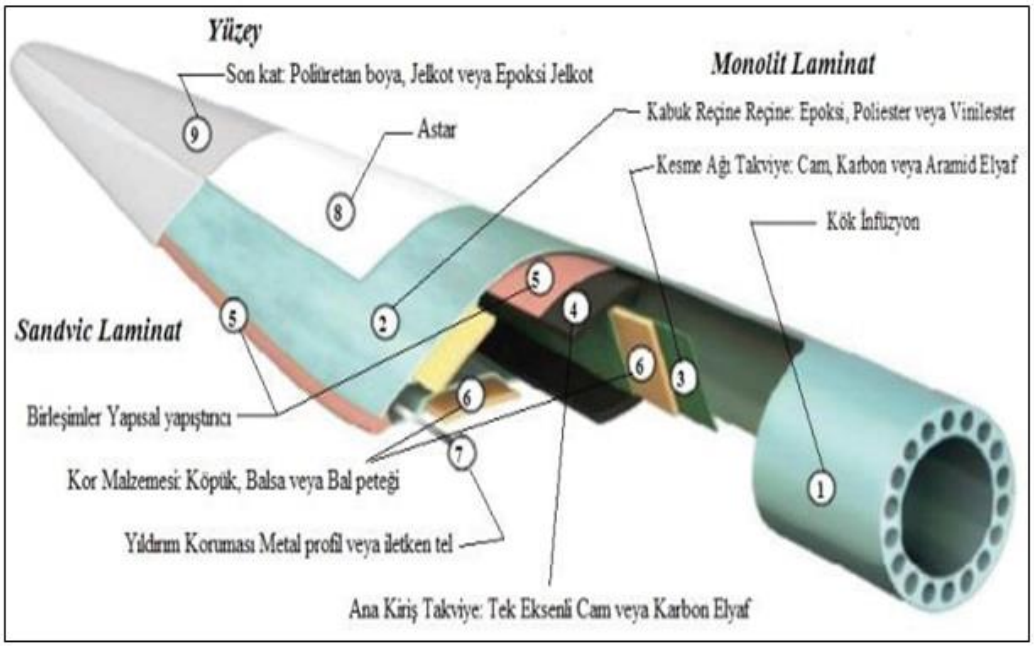
Fiber takviyeli polimer kompozitler (FRP'ler) hafif, yüksek sertlik özellikleri ve biyo-uyumlulukları nedeniyle tıp sektöründe kullanımı artmıştır. Yapay uzuvlar gibi harici bileşenler kompozitlerin yüksek spesifik özellikleri, yorulma direnci ve kompozitlerin üretim esnekliği sayesinde tercih edilirler. Yapay uzuvların ilk tasarımlarında ana yük taşıyıcı yapı olarak pres kalıplı karbon fiber kompozitler kullanılmıştır. Daha yeni gelişmeler, eklem mekanizmalarında yük taşıma bağlantılarını, yayılmış enerji geri dönüşlü ayak salmalarını ve şok yüklerini hafifletmek için elastomerleri içeren hibrit tasarımları içeren daha geniş bir karbon fiber kullanımını artırmıştır. Karbon takviyeli kompozitler, hasarlı alanların biyolojik olarak yenilenmesini sağlamak için kıkırdağa implante edilmektedir. Malzemenin açık dokuma yapısı, tek tek lifler boyunca ve arasında hücre büyümesini teşvik edip uygun bir onarım sağlar.

3.1.4.8. Demiryolu Sektöründe Kompozit Malzeme Kullanımı

Fiber destekli polimer kompozitler (FRP'ler) raylı yataklar, kızaklar, taşıtlar / modüller, iç mekanlar, yan yana mobilyalar ve platform sistemleri gibi ray uygulamalarında kullanılmaktadır.

3.1.4.9. Yenilenebilir Kaynaklarda Kompozit Malzeme Kullanımı

Rüzgar türbinlerinde fiber takviyeli polimerlerin (FRP) kullanımı önemli olup türbin bileşenler için mükemmel yorulma mukavemeti gösterme, rastgele yüklemeye ve korozyona direnç, minimum bakım ve 30 yıldan fazla ömür sağlarlar. Rüzgar türbinin üretim elemanlarının neredeyse tamamında kompozit malzemeler kullanılmıştır.



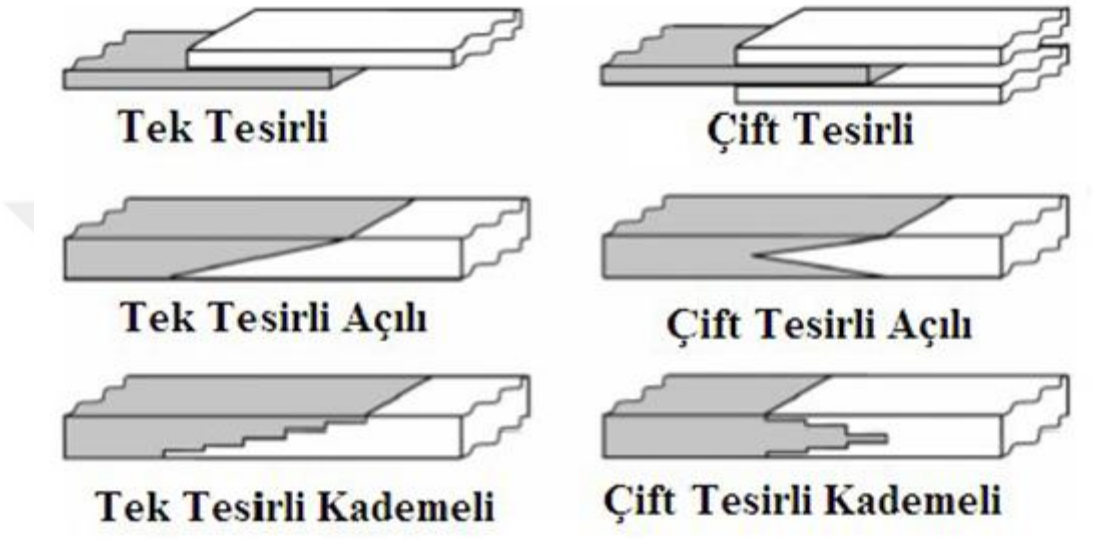
Şekil 3.4. Bir rüzgar türbin kanadında kompozit malzeme kullanımı

Doğal özellikleri nedeniyle FRP kompozitler paslanmadıkları için deniz türbin kanatlarında da kullanılırlar. Epoksi reçine su penetrasyonuna daha az duyarlı olduğu için ve genellikle bir sualtı kompozitinde matris olarak kullanılır. Mükemmel yorulma performansı demek, türbinin sürekli bakımının yapılmasına gerek olmadığı anlamına gelir.

Kompozit malzemeler, bipolar plakaları, uç plakaları, yakıt tanklarını ve yakıt hücresi sistemlerinin bazı bileşenlerinde de kullanılırlar.

3.2. Yapıştırma Bağlantıları

Yapıştırma iki parçanın birleştirilmesi işlemini yapan, çoğunlukla sentetik bazlı bir malzeme ile yapılan çözülemeyen bir bağlantı türüdür. Genellikle kimyasal reaksiyonların sonucunda makro moleküller ile sertleşen yapıştırıcı, malzemeler arasında çok ince bir tabaka oluşturur. Yapıştırıcı iki farklı malzemeyi, sıkı bir şekilde adhezyon kuvveti ile bir arada tutar (Temiz 2013).



Şekil 3.5. Genel yapışma bağlantısı tipleri (Loctite 1998)

Yapıştırıcı gerilimi birleştirilen bölgenin tümüne yayarak yüklerin düzgün dağılmasına imkân verir, bundan dolayı yapıştırıcı kullanılarak yapılmış bir bağlantı mekanik yöntemler ile yapılmış bir bağlantıya göre titreşim ve bükülmeye karşı daha dayanıklıdır. Yapıştırıcı ideal kalınlığı 0,05mm ile 0,15mm iken yapıştırılan yüzeyin uzunluğu kullanıldığı yere göre değişiklik gösterebilir. Yapıştırıcıdan iyi bir performans beklemek için birbirine yapıştırılacak yüzeylerin temizliği büyük önem taşır.

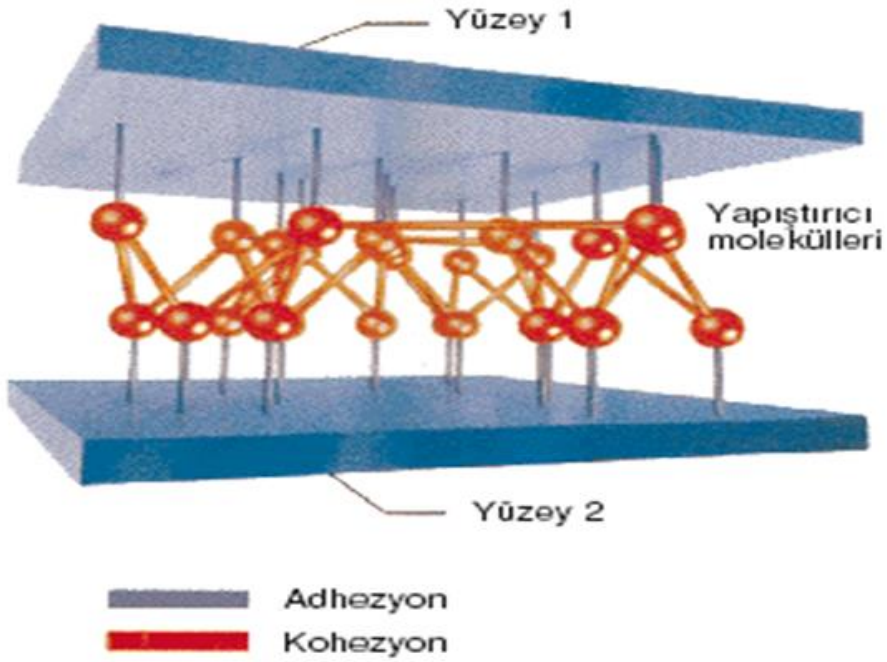
3.2.1. Adhezyon

İki maddenin teması sonucu yüzeylerde meydana gelen kuvvet yapıştırma kuvveti olarak adlandırılmaktadır. Yapışma kuvvetlerinde bilimsel literatürde van der wals kuvvetleri olarakta bilinen çekim ve yüzeye tutunma önemli etkenler olarak bilinmektedir. Mekanik işlem gören pürüzlü yüzeylerin birbiriyle temas etmesi için yapıştırıcının tam olarak yüzeylere etki etmelidir. Yapıştırıcının yüzeylere tam olarak etki etmemesi durumunda moleküller arasındaki kuvvet zayıflar. Pürüzlü yüzeyle yapıştırıcının tam olarak temas etmesi için yüzeyin ıslatılması gerekir. Moleküller

arasındaki temasın maksimum olması ve yapıştırma kuvvetin maksimum olması yüzeyin ıslatılmasına ve yüzeyin yapışma özelliklerine bağlı olarak değişir. Yapıştırıcı yüzey gerilimi için yapılan ıslatma işlemi yapıştırıcıyı kullandığımız yüzeyin yüzey gerilimine ve yapıştırıcı olarak kullanılan malzemenin viskozitesine bağlıdır. Kullanılan yüzeyde kir oluşmuşsa bu oluşan kir yüzeydeki ıslatmayı olumsuz etkiler. Yüzeyde oluşan kir adheziv kırılmaya neden olur ve yapıştırıcı malzeme yüzeyinden kalkar. Adheziv kırılma bu tür çalışmalarda istenmeyen bir durum olarak görülmektedir (Polat 2008).

3.2.2. Kohezyon

Moleküller arasındaki çekim kuvveti ve polimer moleküllerin birbirine kenetlenmesi kohezyon kuvvetlerine etki eder. Yapıştırmalı bağlantılarda yüzey temizliği uygun yapılmış ise kırılma, koheziv bir kırılma olup hasar yapıştırıcının içinde meydana gelir. Örneğin bir zincirde yapıştırma işlemi yapılırken zincir halkasındaki en düşük dayanımına sahip zincir halkası tespit edilip, kohezyon ve adhezyon kuvvetleri yaklaşık olarak aynı olmalıdır (Polat 2008).



Şekil 3.6. Adhezyon ve kohezyon kuvvetleri (Loctite 1988)

3.2.3. Yapıştırma Bağlantılarının Avantajları

- Düzgün gerilme dağılımı gerçekleşir,

- Kolay uygulanılabilirlik,

- Kaynak bağlantılarındakine benzer yapısal değişim gerçekleşmez,

- Uygun olmayan kaynak izleri yoktur,

- Sızdırmazlık sağlar,

- Korozyon sürtünmesi ile aşınma ortadan kalkmıştır,

- Kaynak veya perçinde olduğu gibi birleştirilen yüzeyde istenmeyen görüntüler oluşturmaz; bu yönü ile tasarımcılara ürün görünümünü güzelleştirmek adına kolaylık sağlar.

- Yorulma dayanımı yüksektir,

- Farklı metaller arasında korozyon oluşumunun önüne geçer,

- Sönümleyici olduğundan titreşimleri yutma özelliğine sahiptir,

- Elektriksel yalıtıma elverişlidirler ve maliyetleri düşüktür (Kaya 2005).

3.2.4. Yapıştırma Bağlantılarının Dezavantajları

- İyi bir bağlantı için tecrübe sahibi bireylere ihtiyaç duyulur,

- Bakımları uzun zaman alır,

- Yüksek ısılarda dirençleri düşüktür,

- Yüzey temizleme bir hassasiyet gerektirir,

- Bazı bağlantı durumlarında ısı ve basınca ihtiyaç duyulabilir,

- Tamir edilme güçlükleri ile karşılaşılabilir,

- Yapıştırma bağlantılarında tahribatsız muayene güçtür,

- Düşük sıcaklıklarda kırılganlık görülebilir,

- Bükülmeye elverişli parçalarda sürtünmeye karşı direnç düşüktür (Kaya 2005).

3.2.5. Yapıştırma İşleminde Bağlantı Türleri

3.2.5.1. Bindirmeli Bağlantı (Lap Bağlantısı)

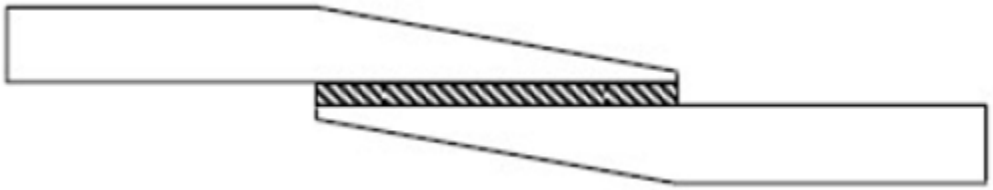
Şekil 3.7'de gösterildiği gibi bu bağlantı türünde, birleştirilecek malzemelerin, belirli ölçülerde üst üste bindirilerek, yapıştırma işlemi yapılır (Kaya 2005).



Şekil 3.7. Bindirmeli bağlantı (Kaya 2005)

3.2.5.2. Eğimli Bindirmeli Bağlantı

Bu tür bağlantılarda, birbiri üzerine belirli ölçülerde yapılan bindirme kasımlarına eğim verilen bağlantı şeklidir (Kaya 2005).



Şekil 3.8. Eğimli bindirmeli bağlantı (Kaya 2005)

3.2.5.3. Alın Alına Bağlantı

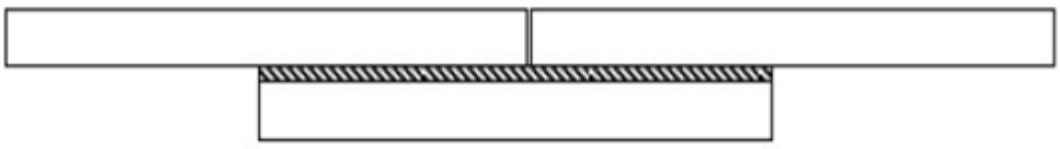
İki malzemenin bir yapıştırıcı yardımı ile alın alına yapıştırılarak oluşturulan bağlantı şeklidir (Kaya 2005).



Şekil 3.9. Alın Alına bağlantı (Kaya 2005)

3.2.5.4. Tek Destek Elemanlı Bindirmeli Bağlantı

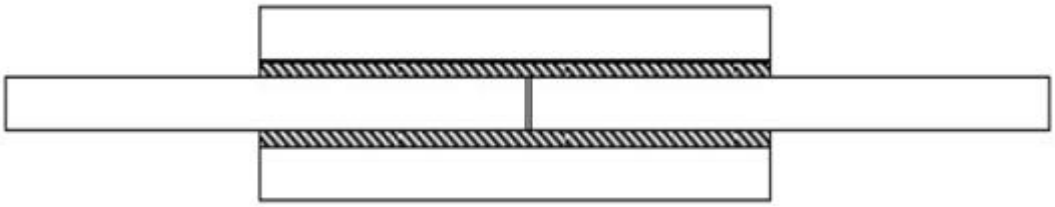
Bu bağlantı türünde üste kısma ya da alt kısma bir destek elemanı yapıştırılarak iki malzemeyi alın alına gelecek şekilde oluşturulan bindirmeli bağlantı şeklidir (Kaya 2005).



Şekil 3.10. Tek destek elemanlı ile bindirmeli bağlantı (Kaya 2005)

3.2.5.5. Çift Destek Elemanlı Bindirmeli Bağlantı

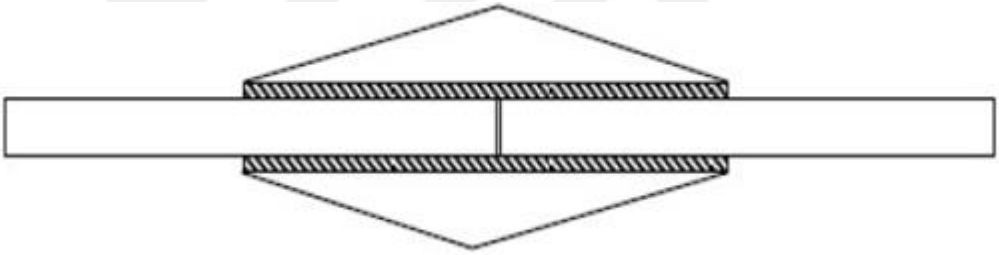
Bu bağlantı türünde hem üst kısma hem de alt kısma iki destek elemanı yapıştırılarak iki malzemenin alın alına gelecek şekilde oluşturulan bindirmeli bağlantı türüdür (Kaya 2005).



Şekil 3.11. Çift destek elemanlı bindirmeli bağlantı (Kaya 2005)

3.2.5.6. Eğimli Çift Destek Elemanlı Bindirmeli Bağlantı

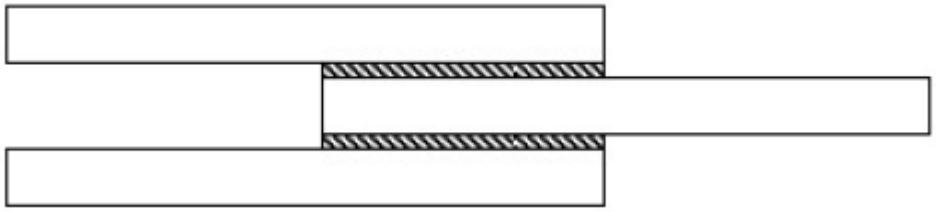
Bu bağlantı türünde hem alt kısma hem de üst kısma iki destek elemanı yapıştırılarak iki malzeme alın alına gelecek şekilde ve destek kısımlarına eğim verilerek oluşturulan bindirmeli bağlantı türüdür (Kaya 2005).



Şekil 3.12.Eğimli çift destek elemanlı bindirmeli bağlantı (Kaya 2005)

3.2.5.7. Çift Bindirmeli Bağlantı

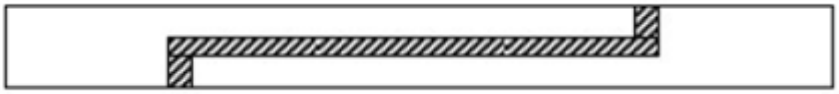
Bu bağlantı türünde iki adet malzeme diğer üçüncü malzeme üzerine bir alt kısma diğeri de üst kısma gelecek şekilde yapıştırılarak oluşturan bindirmeli bağlantı şeklidir (Kaya 2005).



Şekil 3.13. Çift bindirmeli bağlantı (Kaya 2005)

3.2.5.8. Basamaklı Bindirme Bağlantısı

Bu bağlantı türünde iki eleman basamak şeklinde oyularak birbirlerinin üzerine tam oturacak şekilde yapıştırma işlemi yapılarak oluşturulan bindirmeli bağlantı türüdür.

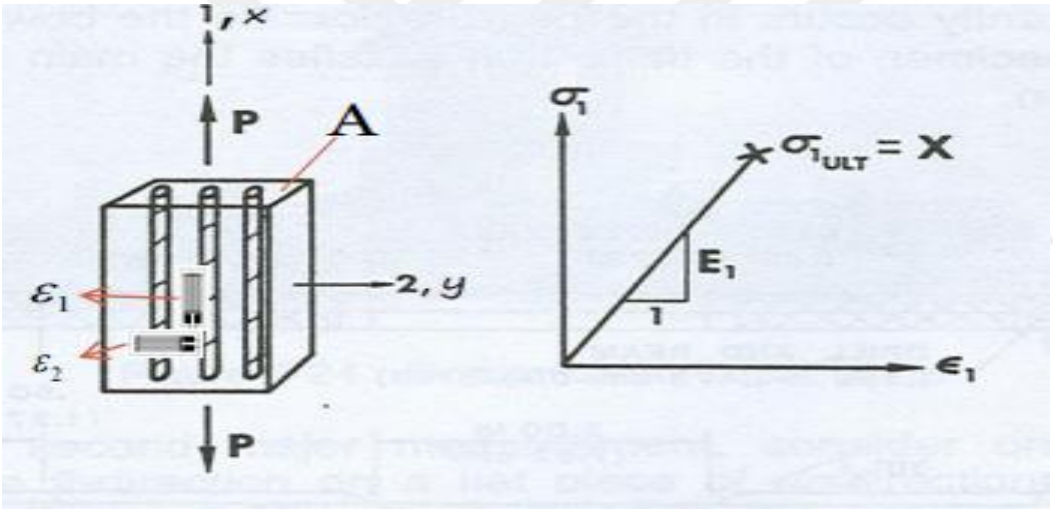


Şekil 3.14. Basamak şeklinde bindirme bağlantısı (Kaya 2005)

3.3. Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerin Deneysel Olarak Tespiti

3.3.1. Fiber Doğrultusunda (1, x) Özelliklerin Deneysel Olarak Tespiti

Kompozit malzeme numuneleri fiber takviye açısı 1 doğrultusunda çekme testine tabi tutulurlar.

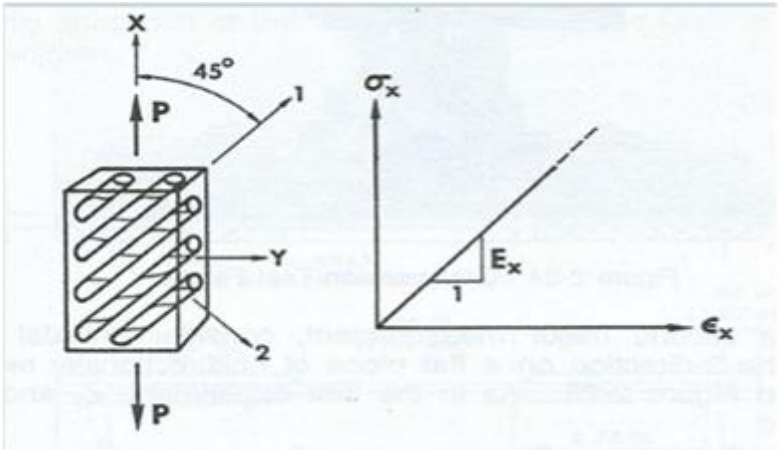


Şekil 3.15. 1 yönünde tek eksenli yükleme (Kaw 2014)

Çekme testine tabi tutulan numunelerin P, ε_1, ε_2 değerleri okunur.

$$E_1 = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_1} = \frac{P/A}{\varepsilon_1} \quad , \quad v_{12} = -\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \quad , \quad X_T = \frac{P_{Ult}}{A}$$

Yukardaki formüllerden ve değerleri bulunarak ortalamaları alınır. Kopmanın gerçekleştiği anda çekme yükünün (P) 1 doğrultusunda X_T çekme mukavemeti hesaplanır.



Şekil 3.16. 45˚ yönde tek eksenli yükleme (Kaw 2014)

G_{12} (kayma modülü) değerlerini deneysel olarak elde etmek için, 45˚'lik fiber açılı numuneler şekildeki gibi x doğrultusunda çekme testine tabi tutulur. Farklı anlardaki P ve ε_x değerleri deneysel olarak ölçülür.

$$\sigma_x = \frac{P}{A}, \qquad E_x = \frac{\sigma_x}{\varepsilon_x}$$

Formüller yardımıyla ε_x değerleri bulunup ortalamaları alınır.

$$\frac{1}{G_{12}} = \left(\frac{4}{E_x} + \frac{2\nu_{12}}{E_1}\right) - \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2}\right)$$

E_1, E_2, ν_{12} değerleri daha önce anlatıldığı gibi deneysel olarak tespit edilir. E_x değeri de deneysel olarak tespit edilerek G_{12} bu formülden hesaplanır.

3.4. Sertlik ve Sertlik Ölçme Yöntemleri

Bir malzemede çizilme, aşınma, kesilme, delinme ya da malzemenin plastik deformasyona karşı oluşturduğu dirence sertlik denir. Bir malzemenin sertlik değeri malzemenin diğer mekanik özellikleri ile paralel olduğu için sertlik testi malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemede kullanılan yaygın bir uygulamadır.

Sertlik ölçme işlemi genel olarak batıcı bir ucun malzemeye batırılmasıyla oluşan direncin ölçme işlemidir. Genellikle batıcı uçların geometrisi koni, piramit ve bilye olup sertliği üzerinde deney yapılan numunenin sertliğinden çok yüksektir.

3.4.1. Sertlik Ölçme Yöntemleri

Genellikle malzemelerin sertlik değerinin bulunması için 4 farklı sertlik ölçme yöntemi kullanılabilir. Bunlar;

- Rockwell sertlik ölçme yöntemi

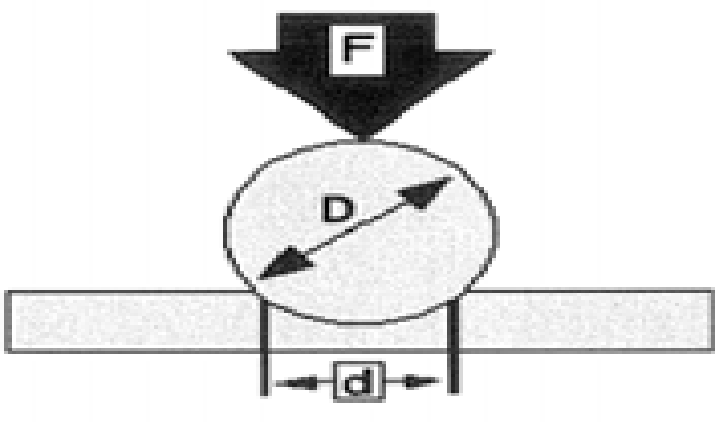
- Brinell sertlik ölçme yöntemi

- Vickers sertlik ölçme yöntemi

- Mikrosertlik ölçme yöntemi

3.4.1.1. Brinell Sertlik Ölçme Yöntemi

Brinell sertlik ölçme yönteminde belirli bir yükün (F) belirli bir çaptaki (D) sert bir bilyenin belirli bir zaman diliminde numune yüzeyine batırılmasıyla numune yüzeyinde oluşan kalıcı bir iz (d) oluşturma esasına dayanan bir yöntemdir. Daha sonra numune kuvvetinin oluşan izin küresel yüzey alanına bölünmesiyle brinell sertlik değeri verir.



Şekil 3.17. Kuvvetin bir bilye yardımı ile numuneye batırılması

Brinell sertlik değeri şu şekilde formülize edilir;

$$BSD = \frac{F}{y} = \frac{2F}{\pi D(D-\sqrt{(D^2-d^2)})}$$

3.4.1.2. Rockwell Sertlik Ölçme Yöntemi

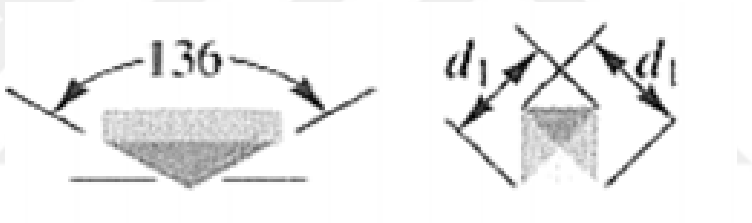
Rockwell sertlik ölçümünde elmas koni ya da çelik bilye kullanılır. Elmas koninin tepe açısı 120º, tepe noktası yarıçapı 0.2 mm olan bir küre parçasından

genellikle yapılır. Bilye uçların çapları yaklaşık 1,6 mm, 3,2 mm, 6,35 mm ve 1,27 mm olabilir.

Rockwell sertlik ölçme yönteminde genellikle batıcı uç 10 kg kadar küçük bir yükün batırılmasıyla oluşan izin en dip noktası başlangıç noktası olarak kabul edilir. Bunun amacı izdeki en dip nokta ile uç arasında net bir sağlamak ve ölçü düzeninde oluşan boşlukları kapatmaktır. Daha sonra yükün değeri artırılıp tekrar yük eski değerine getirttirilir. Ucun batma derinliğindeki artış miktarı Rockwell sertlik değerini verir.

3.4.1.3. Vickers Sertlik Ölçme Yöntemi

Vickers sertlik ölçme yönteminde baskı elemanının tepe açısı 136º olan elmas piramit kullanılıp piramidin dörtgen yüzünün malzeme yüzeyinde oluşturduğu izdir. Oluşan dörtgen izin yüzeyindeki köşegenlerin ortalama uzunlukları ölçülerek bulunan değerin formülde yerine konularak sertlik değeri elde edilir.



Şekil 3.18. Elmas piramidin batırılma şekli

Vickers sertlik değeri yüke bağlı değildir. Genellikle yük değeri 20 kg olarak seçilebilir. Ölçme hatalarını azaltmak ve heterojen yapılar elde etmek için izi büyütmekte fayda vardır. Yük değeri genellikle 20 saniye boyunca uygulanır.

Vickers sertlik ölçme değeri şu şekilde hesaplanır;

VSD = 1,8544. F/d

Burada uygulanan yük değeri (F) d ise köşegen uzunluklarının ortalamasıdır.

3.4.1.4. Mikro-Sertlik Ölçme Yöntemi

Bu yöntem özellikle çok küçük numunelerin ve ince saçların sertliklerini ölçmede elverişlidir. Karbürize, dekarbürize veya azotla sertleştirilmiş yüzeylerle elektrolit olarak kaplanmış malzemelerin sertlikleri de bu deneyle tespit edilir. Ayrıca metalik alaşımlarda fazların sertliklerinin tespitinde, segregasyonların ve cam, porselen,

metlik karbürleri gibi çok sert ve kırılgan malzemelerin sertliklerini ölçmede kullanılır. Mikro sertlik ölçme yöntemleri Vickers ve Knoop mikro-sertlik ölçme yöntemleridir.

Vickers ucu, tabanı kare, tepe açısı 136° olan piramit uç, knoop ucu ise 172° olan piramit biçiminde elmas uç kullanılır. Knoop sertlik değeri:

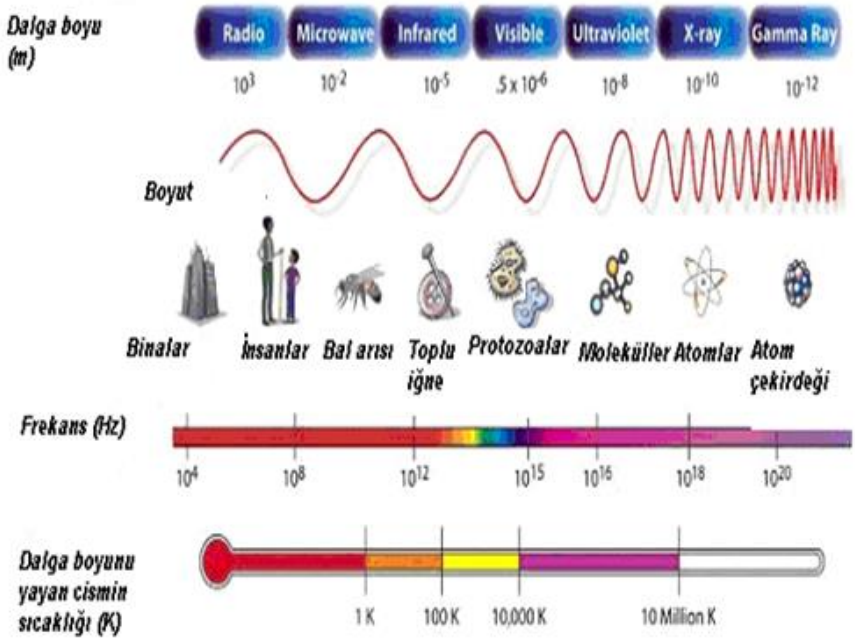
$$KSD = 14{,}2\frac{P}{I^2}$$

Formülü ile hesaplanır. P uygulanan yükü, I ise uzun köşegen uzunluğunu gösterir.

3.5. Ultraviyole Işınları

3.5.1. Elektromanyetik Dalgalar

Modern fizikte foton olarak adlandırılan ışık veya elektromanyetik dalga, kuramsal olarak bir elektromanyetik alandaki bir dalga ve kütlesiz bir parçacık akışı olmak üzere birbirini tamamlayan iki form olarak bilinmektedir.

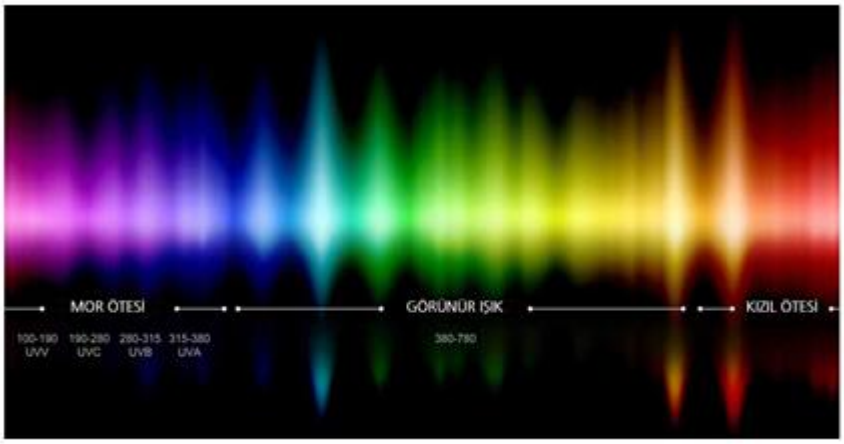


Şekil 3.19. Elektromanyetik spektrum

Boşlukta çok yüksek bir hızla yayılan elektromanyetik dalgaların, x ışınları, ultraviole (mor ötesi) ışınları, mikro dalgalar, TV dalgaları, radyo dalgaları gibi türleri vardır.

3.5.2. Elektromanyetik Spektrum Bölgeleri

Elektromanyetik dalgalar, dalga boyları ve enerji büyüklüklerine göre çok geniş bir yayılım gösterebilmektedirler. Elektromanyetik spektrum bölgeleri şekil 3.20'deki gibi gösterilebilir.



Şekil 3.20. Işık spektrumu

Şekil 3.21.'de ise elektromanyetik spektrumdaki ışınlar ve dalga boyları ayrıntılı bir şekilde belirtilmektedir.

IŞINLAR	DALGA BOYLARI
Kozmik Işınlar	
Gama Işınları	<0,1A°
X Işınları	0,1-100A°
Vakum	10-200 nanometre (nm)
UV-C(far-UV)	200-280 nanometre (nm)
UV-B(mid-UV)	280-320 nanometre (nm)
UV-A(near-UV)	320-400 nanometre (nm)
Görünür Işınlar	400-700 nanometre (nm)
IR Civarı	0,74-1,5 mikrometre (μm)
IR	1,5-5,6 mikrometre (μm)
IR Ötesi	5,6-1000 mikrometre (μm)
Mikrodalgalar	1-5 milimetre (mm)
Radyo Dalgaları	>5milimetre (mm)

Şekil 3.21. Elektromanyetik spektrumdaki ışınlar ve dalga boyları

3.5.3. Ultraviyole Işını

Ultraviyole ışınlarının dalga boyları gözle görebildiğimiz dalga boylarından daha kısa olduğundan dolayı gözle görülememektedir. Yapılan bazı çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre arı familyasından bazı yaban arıların bu dalgaları görebildiği tespit edilmiştir. İnsan gözüyle görülebilen ışınları dalga boylarının 400 nanometre ile 700 nanometre arasında olması gerekir. Ultraviyole ışınlarının dalga boyları ise 100 nanometre ile 400 nanometre arasında değişmektedir. Bundan dolayı insan gözüyle görebileceğimiz ışın mor ışın olarak görülmektedir. İnsanların göremediği bu ışınları birçok böcek görebilmektedir.

Güneşten yayılan enerjinin % 9'luk kısmı içinde ultraviyole radyasyon barınmaktadır, bundan dolayı ultraviyole ışınları için önemli ve büyük bir kaynak oluşturmaktadır. Güneşten yayılan ultraviyole ışınların % ellisinden fazlası atmosfer sisteminde emilmesine rağmen bu ultraviyole ışınları yoğun bir şekilde hissederiz. Üç çeşit ultraviyole ışını bulunmaktadır. Bu ışınlar; UV-A, UV-B ve UV-C dir.

3.5.3.1. UV-A Işınları

Bu üç çeşit ultraviyole ışın arasından dalga boyu 320-400 nanometre arasında olan UV-A ışınları enerjisi en az dalga boyu en fazladır. Güneşte yayılan ultraviyole ışınlar atmosferden direk geçebildikleri gibi camdan da geçebilmektedir. Malzemeler üzerinde önemli etkileri bulunan bu ışınlar deri katmanlarından rahatlıkla geçerek iç derimize kadar nüfuz edebildiklerinden dolayı derimizin erken yaşlanmasına, deri kanserine ve kırışıklık gibi fiziksel sorunlara sebebiyet verebilirler.

3.5.3.2. UV-B Işınları

UV-B ışınlarının dalga boyları 280 -320 nm arasındadır. Bu dalgalara hem enerji hem sahip oldukları enerji hem de dalga boyu açısından bakıldığında, UV bandının tam ortasında yer alan ışınlar olduğu görülmektedir. UV-A ışınlarından neredeyse 1000kat daha fazla güce sahip olan bu ışınlar; UV-B ışınlarının yer yüzüne ulaşmasını engelleyen stratosferik ozon tabakasına zarar verirler ve ayrıca bulutlarda UV-B ışınlarının çoğunluğunu emerler. Bu ışınların insan biyolojisi üzerine de oldukça zararlı etkileri vardır. Bu etkilerden bazılarını söylemek gerekirse; insanlar için hayati öneme sahip olan bağışıklık sistemine büyük zarar verirler, bazı insanlarda geçici körlüğe, korneanin zedelenmesine ve ileriki yaşlarda katarakta sebep olmaktadırlar. Bu ışınlar

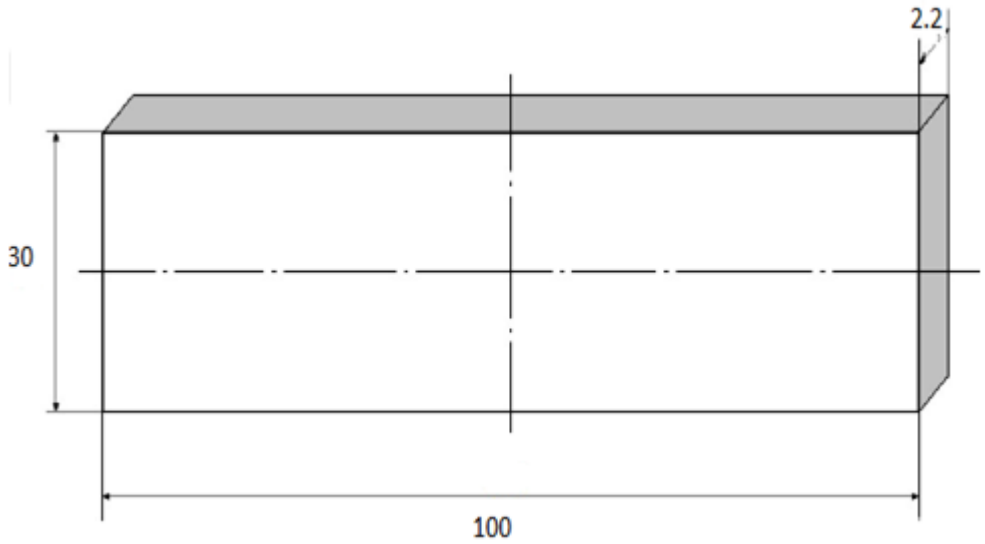
günümüzde endüstri sektörünün aydınlatma sistemlerinde ve solaryum lambalarında tercih edilmektedir.

3.5.3.3. UV-C Işınları

UV-C ışınlarının dalga boyu 200 - 280 nm arasında olan dalga boyları en kısa ve enerjileri en yüksek olan ışınlardır. Deri veya göz ile temas etmeleri durumunda kanser gibi kötü sonuçlara sebep olmaktadırlar. Bu ışınlara koruyucu tedbirler alınmadan hiçbir şekilde maruz kalınmamalıdır. Güneş kaynaklı UV-C ışınları atmosferdeki gazlar tarafından tutulur veya ozon tabakası tarafından filtre edilmektedirler.

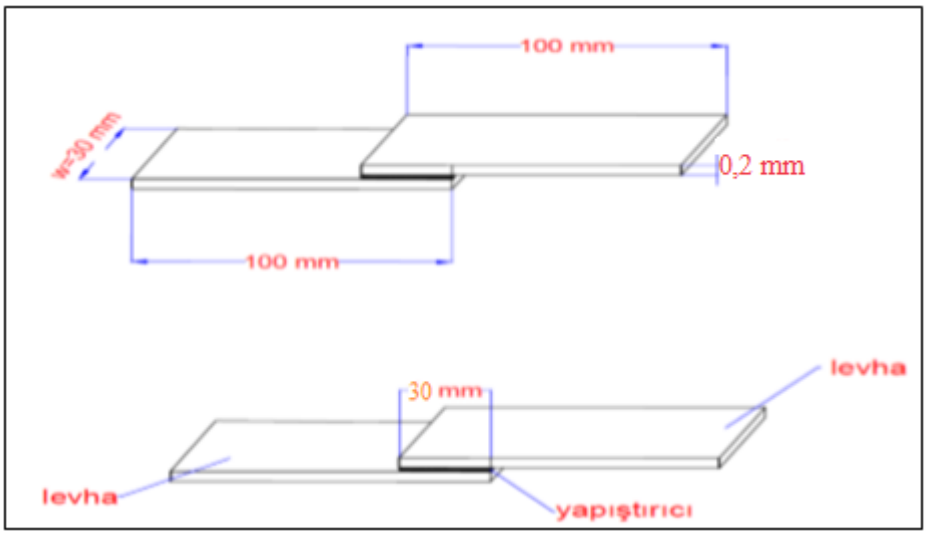
3.6. Problemin Modeli

Deneysel çalışma için üretilmiş kompozit numuneler 100 mm x 30 mm x 2,2 mm boyutlarında seçilmiştir. Numune uzunluğu Saint-Venant prensibi gereği numune genişliğinin 3 katını aşacak şekilde hazırlandı. Numuneler şekildeki boyutlarda üretimi yapıldı. Üretilen kompozit numunelerin fiber takviye açısı 0º ve 45ºdir.



Şekil 3.22. Deneysel çalışmada kullanılacak numune boyutu

Tek tesirli yapıştırma bağlantısında bindirme uzunluğu 30 mm olup yapıştırıcı kalınlığı 0,2 mm kalınlığındadır.



Şekil 3.23. Tek tesirli bindirme yapıştırma bağlantısı geometrisi

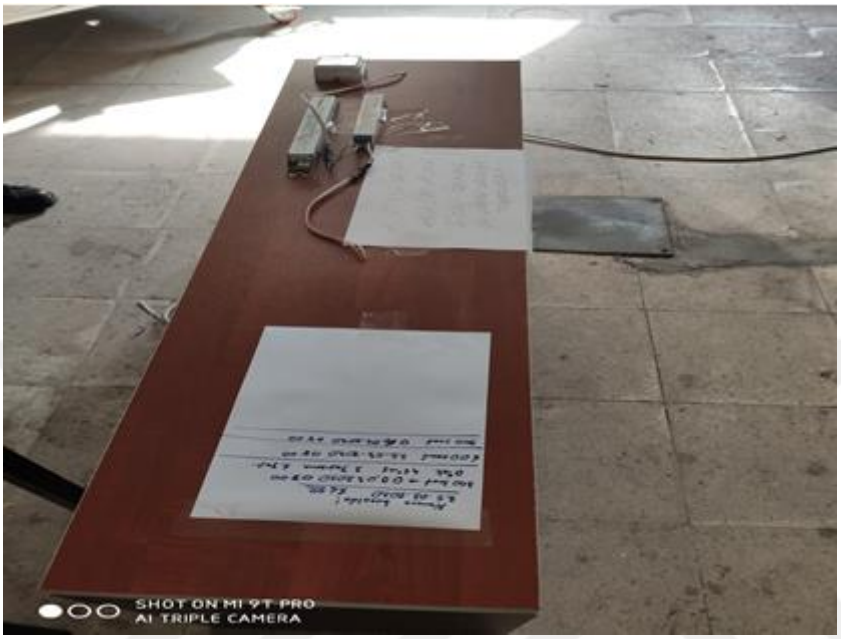
Deneysel çalışma için numuneler 4 farklı gruplara ayrılacak şekilde hazırlandı. RT oda sıcaklığı koşullarını temsil etmektedir. Birinci grup içerisinde; RT 0º ev, RT 45º ev, RT 0º TTYB, RT yapıştırıcıdır. İkinci grup içerisinde; 300 saat 0º ev, 300 saat 45º ev, 300 saat 0º TTYB ve 300 saat yapıştırıcıdır. Üçüncü grup içerisinde; 600 saat 0º ev, 600 saat 45º ev, 600 saat 0º TTYB ve 600 saat yapıştırıcıdır. Dördüncü grup içerisinde; 900 saat 0º ev, 900 saat 45º ev, 900 saat 0º TTYB ve 900 saat yapıştırıcıdır. Beşinci grup içerisinde; 1200 saat 0º ev, 1200 saat 45º ev, 1200 saat 0º TTYB ve 1200 saat yapıştırıcıdır.

45º ev tipi numuneleri kullanmamızın amacı kompozit levhanın kayma modülünü bulmaktır. TTYB numunelerinde fiber takviye açısı 0º olan kompozit levhalar kulanılarak UV maruziyeti sonrasında yapışma bağlantı noktalarındaki değişimi incelemek için TTYB numuneleri üretildi.

Çizelge 3.1. UV ışınlarına maruz kalma süreleri ve numunelerin gruplandırılması

UV ışınlarına maruz kalma süreleri	**1.Grup Numuneler**	**2.Grup Numuneler**	**3.Grup Numuneler**	**4.Grup Numuneler**	**5.Grup Numuneler**
(RT) 0 saat	0º ev, 45º ev, 0º TTYB, Yapıştırıcı				
300 saat		0º ev, 45º ev, 0º TTYB, Yapıştırıcı			
600 saat			0º ev, 45º ev, 0º TTYB, Yapıştırıcı		
900 saat				0º ev, 45º ev, 0º TTYB, Yapıştırıcı	
1200 saat					0º ev, 45º ev, 0º TTYB, Yapıştırıcı

Deneysel çalışmanın amacı olan UV-A tipi ışınları simüle etmek için Philipsactinic BL TL-DK 36 W gücündeki lambayı kullanıldı. Lambanın izolasyonunu gerçekleştirmek için 120 cm x 50 cm x 30 cm boyutlarında ahşap kapalı bir kutu imal ettik. Lamba kutunun içerisindeki bölmelere yerleştirildi.



Şekil 3.24. 120 cm x 50 cm x 30 cm boyutlarında ahşap kapalı bir kutu

Deneysel çalışmada numunelerin UV-A tipi ışınlara maruziyet süreleri yani zaman parametreleri 300, 600, 900 ve 1200 saat olarak belirlendi.

3.7. Numunelerin Hazırlanması

Kompozit malzemelerde iyi bir yapıştırma bağlantısı gerçekleştirmek için yüzey pürüzlülüğü, temizlik ve iyi bir şekilde kurutulması çok önemlidir. Numunelerde yapışma işlemi öncesinde eksik veya hatalı yüzey hazırlığı deney sonuçlarında istenmeyen sorunlara neden olabilir. Numunelerin istenilen ölçülerde kesilmesi, yüzey hazırlığı ve numunelerin yapıştırma işlemi aşağıdaki yol ve yöntemler kullanılarak hazırlanmıştır.

Deneyde kullanılacak kompozit numuneler için 1 metrelik kompozit levhalar elektrikli testere ile istenilen ölçülerde kesilmiştir.



Şekil 3.25. Elektrikli testere yardımı ile levhaların kesilmesi

Numuneler istenilen ölçülerde kesildikten sonra yüzey pürüzlülüğünü artırmak için kalemle çizilip zımparalama işlemi yapılmıştır.



Şekil 3.26. Çizim ve zımparalama işlemi

Numunelerde zımparalama işlemi bittikten sonra numunelerde yüzey temizliği için aseton ve temiz bir bez ile iyice temizlenmiştir.



Şekil 3.27. Zımparalanan numunelerin aseton ve temiz bez yardımı ile yüzey temizleme işlemi

Numunelerin yüzey hazırlama işlemi bitirildikten sonra numeneler kurumaları için beklemeye alındı. Daha sonra numunelerin yapıştırma işlemi için standart ölçülerde özel kalıplar üretildi. Bu kalıplar kompozit malzeme ve yama ölçülerine uygun bir şekilde hazırlanmıştır. Yapıştırma işlemleri için Loctite EA 9466 marka epoksi yapıştırıcı kullanılmıştır.

Yapıştırma işlemi öncesi kalıplarda sürtünmeyi azaltmak için kalıp ayırıcı sıvı sürülmüştür. Bindirme ölçülerine göre numuneler çizilmiştir. Daha sonra numuneler kalıplara yerleştirilip 0,2 mm kalınlığı aşmayacak şekilde yapıştırıcı sürülmüştür.



Şekil 3.28. Yapıştırıcının numunelere sürülmesi

Numunelere yapıştırtıcı sürülme işlemi bittikten sonra numuneler bindirme ölçüsüne uygun bir şekilde yapıştırılmıştır.



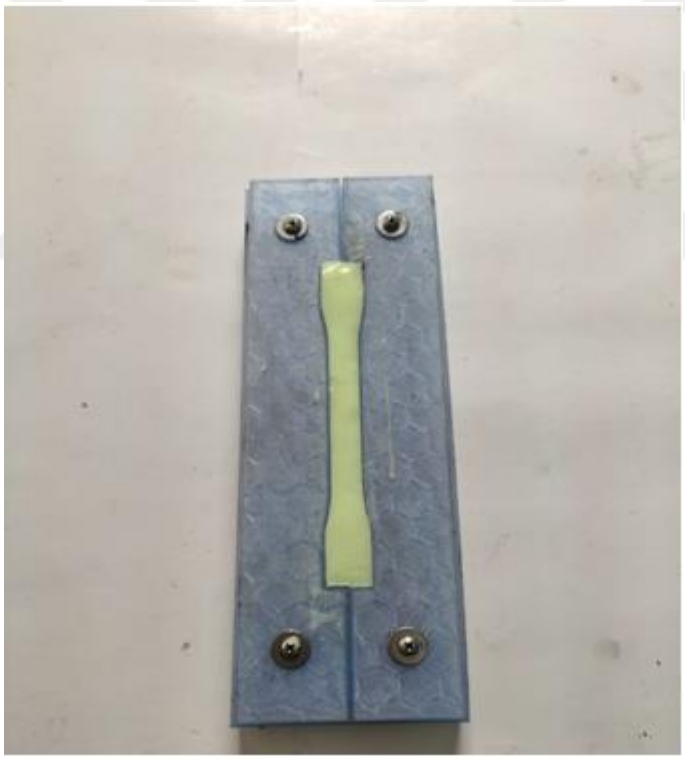
Şekil 3.29. Numunelerin yapıştırma işlemi

Çekme cihazında numunelerin eksantrik olmaması için numunelerin her iki ucuna uygun bir şekilde yamalar yapıştırılmıştır.



Şekil 3.30. Numunelerin yapıştırma işlemlerinin bitmiş hali

Yapıştırıcının da mekanik özelliklerini tespit etmek amacıyla yapıştırıcı için standart ölçülerde özel kalıplar üretilip yapıştırıcı özel kalıp içerisine dökülmüştür.



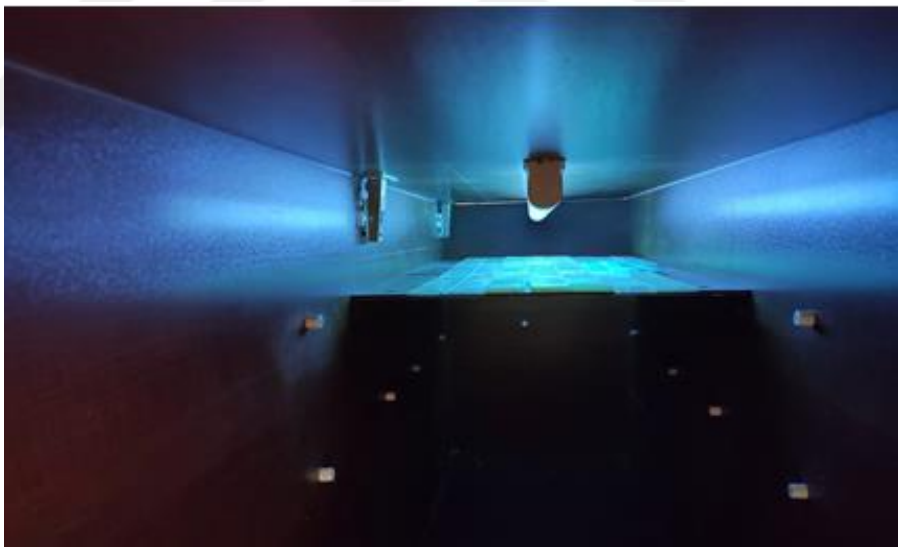
Şekil 3.31. Yapıştırıcının kalıp içerisine dökülmüş hali

Deneysel aşamada hata payını en aza indirgemek için her tip numuneden üçer adet üretilmiştir. Numuneler dış çevre ile izole edilmiş ahşap tahta kutu içerisindeki UV-A tipi ışın yayan lambaya maruz bırakılmıştır.



Şekil 3.32. Numunelerin UV test cihazına yerleştirilmesi

Numuneler 300, 600, 900 ve 1200 saat boyunca UV-A tipi ışınlara maruz bırakıldı.



Şekil 3.33. Numunelerin UV ışınlarına maruziyeti

Numuneler belirli zaman aralıklarında UV ışınlarına maruz bırakıldıktan sonra fiber takviye açısı 0º levhalara, 45º levhalara ve yapıştırıcı numunelerine gerinim pulu yapıştırılmıştır. Gerinim pulu yapıştırılmasının amacı çekme test cihazında numuneler çekilirken daha hassas mekanik özellikler ve ölçümler elde etmektir.



Şekil 3.34. Numunelere gerinim pulu yapıştırılmış hali

3.8. Deneyin Yapılışı

3.8.1. Mikro-Sertlik Ölçüm Deneylerinin Yapılışı

Numuneler belirli zaman aralıklarıyla UV ışınlarına maruz kaldıktan sonra mekanik özellikler arasında önemli bir kritere sahip olan sertlik değerlerini bulmak için deneyler Dicle Üniversitesi mekanik laboratuvarında yapılmıştır. Mikro-sertlik deneyleri mikro-sertlik ölçüm cihazında ASTM standartlarına göre vickers sertlik ölçme yöntemi ile oda sıcaklığında yapılmıştır. Vickers sertlik ölçüm cihazında piramit dörtgen ucun her numune üzerinde 0.01 kg yük altında 10 saniye boyunca batırılmasıyla oluşan izin sertliğini Vickers sertlik metoduyla test cihazında ölçülmüştür. Piramit dörtgen ucun batırılması fiberler arasındaki matris alanında yapılması dikkat edilmiştir.



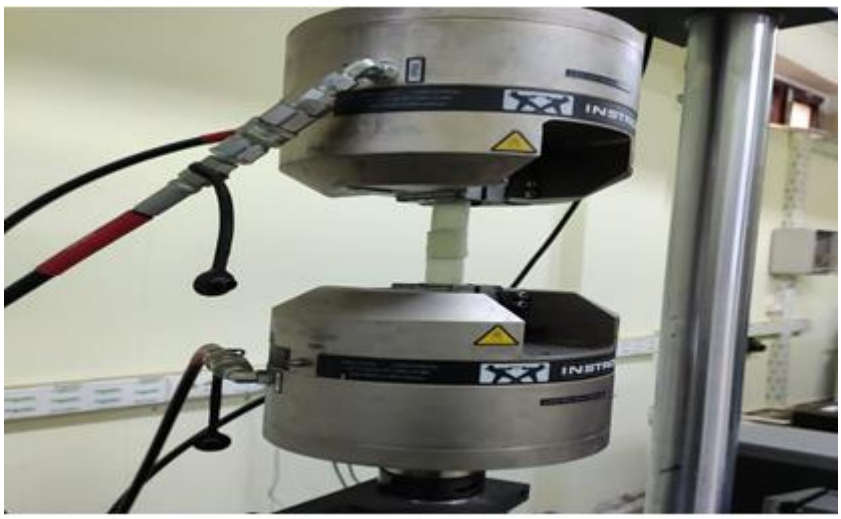
Şekil 3.35. Numunelerin mikro-sertlik ölçüm cihazına yerleştirilmesi

3.8.2. Statik Çekme Deneylerinin Yapılışı

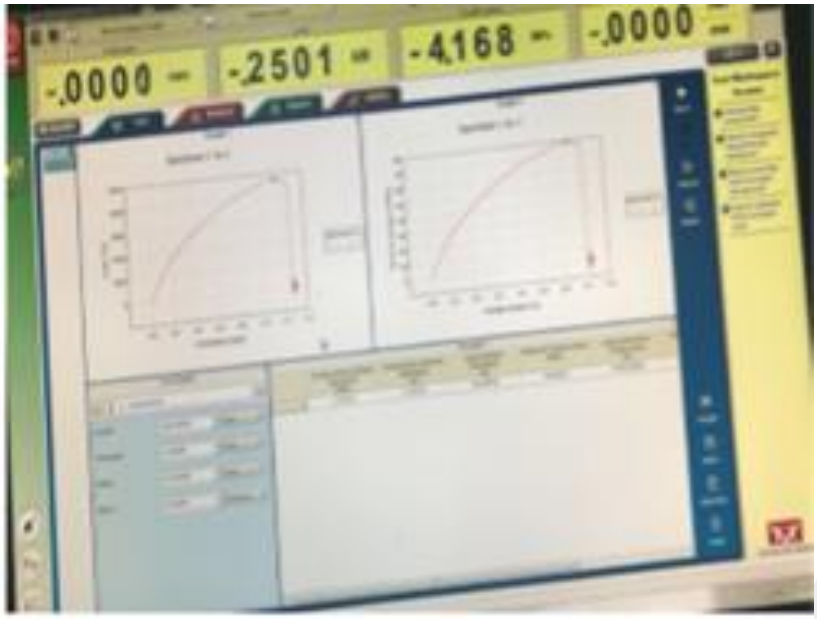
Numunelerin üretilmesi, hazırlanışı ve statik çekme deneyleri Dicle Üniversitesi mekanik laboratuvarında yapılmıştır. Her tip numune grubu için üçer numune üretilmiştir. Statik çekme deneyleri 100 kN kapasiteli İnstron BS 8800 test cihazında ASTM standartlarına göre oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Ortamda bulunan nem numuneler üzerinde etkisi olmadığı varsayılmıştır. Test cihazında numunelerin çekilme hızı 1mm/dk olarak ayarlanmıştır. Test cihazının üst çenesi sabit iken alt çenesi hareketlidir. Numuneler her iki çeneye bağlanırken eksenlenmesine dikkat edilip her iki çenede eşit miktarda basınç çekme kuvveti uygulamıştır.

3.8.2.1. Tek Tesirli Yapıştırma Bağlantı Numunelerinin Statik Çekme Cihazı İle Çekilmesi

Bütün numunelerin çekme testi boyunca şekil değişimleri, soyulmaları ve hasara uğrama şekilleri gözlemlenmiş, yapılan gözlemler kaydedilmiştir. Numunelerin hasar yükleri ve uzamaları aşağıdaki gibi doğruca bilgisayarda kaydedilmiş ve bu verilerle grafik ve tablolar oluşturulmuştur.



Şekil 3.36. Numunelerin her iki çeneye bağlanışı



Şekil 3.37. Test cihazından alınan verilerin bilgisayarda kaydedilmesi

3.8.2.2. Kompozit Levhalara ve Yapıştırıcıya Gerinim pulu Yapıştırılarak Çekme Cihazı İle Çekilmesi

Gerinim pulu cihazı statik çekme test cihazının ana bilgisayarına bağlandıktan sonra gerinim pulu yapıştırılan numuneler test cihazının her iki çenesine eksenlenmesine dikkat edilecek şekilde bağlanıp gerinim pulu kablo girişleri gerinim pulu cihazına bağlanmıştır.



Şekil 3.38. Gerinim pulu yapıştırılmış numunelerin statik çekme cihazı ve gerinim pulu cihazına bağlanması

Gerinim pulu yapıştırılan numunelerin çekme testi boyunca şekil değişimleri, soyulmaları uzamaları gözlemlenmiş ve yapılan gözlemler kaydedilmiştir. Numunelerin hasar yükleri ve uzamaları hassas bir şekilde ölçülüp, doğruca bilgisayarda kaydedilmiştir. Çekme testine tabi tutulan numunelerin P, ε_1, ε_2 ve $\sigma_x$değerleri okunur. Elde edilen bu veriler formüller yardımıyla E_1, ε_x, v_{12} ve G_{12} değerleri bulunur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde tek tesirli yapıştırma bağlantılarının, kompozit levhaların ve yapıştırıcının belirli zaman aralıklarında UV ışınlarına maruz bırakıldıktan sonra statik çekme testi ve mikro-sertlik ölçme testleri uygulanıp elde edilen sonuçlar incelendi.

4.1. Deneysel Çalışma Sonuçları

Bu bölümde UV ışınlarına maruz kalan tek tesirli yapıştırma bağlantılarının statik deney sonuçları sunulup ayrıca, UV ışınlarına maruz kalan cam takviyeli kompozit levhaların ve yapıştırıcının mikro-sertlik deney sonuçları ve gerinim pulu yapıştırılan numunelerin çekme deney sonuçları sunulmuştur.

4.1.1. UV Işınlarına Maruz Kalan Cam Takviyeli Kompozit Levhaların ve Yapıştırıcının Mikro-Sertlik Deney Sonuçları

Bu bölümde UV ışınlarına maruz kalan kompozit levhaların ve yapıştırıcının mikro-sertlik ölçüm cihazından elde edilen ölçüm değerleri tablolar halinde verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kompozit levhaların UV ışınlarına maruz kalma sürelerine bağlı olarak mikro-sertlik ölçüm cihazından elde edilen sertlik değerleri

UV maruz kalma süresi (Saat)	Kompozit Levha (HV)
RT(0)	20,91
300	20,72
600	17,84
900	21,12
1200	21,35

Mikro-sertlik ölçüm cihazından elde edilen verilere göre fiber takviye açısı 0º olan kompozit levhaların sertlik değerleri UV ışınlarına maruz kalma süresi 300 saate 20, 72 HV olup önemli bir değişim olmazken, maruz kalma süresi 600 saatte çıkarıldığında sertlik değeri 17,84 HV düşmüştür. UV ışınlarına maruz kalma süresi 900 saatte çıkarıldığı zaman sertlik değeri 21,12 HV olup malzemenin sertliği artmaktadır.

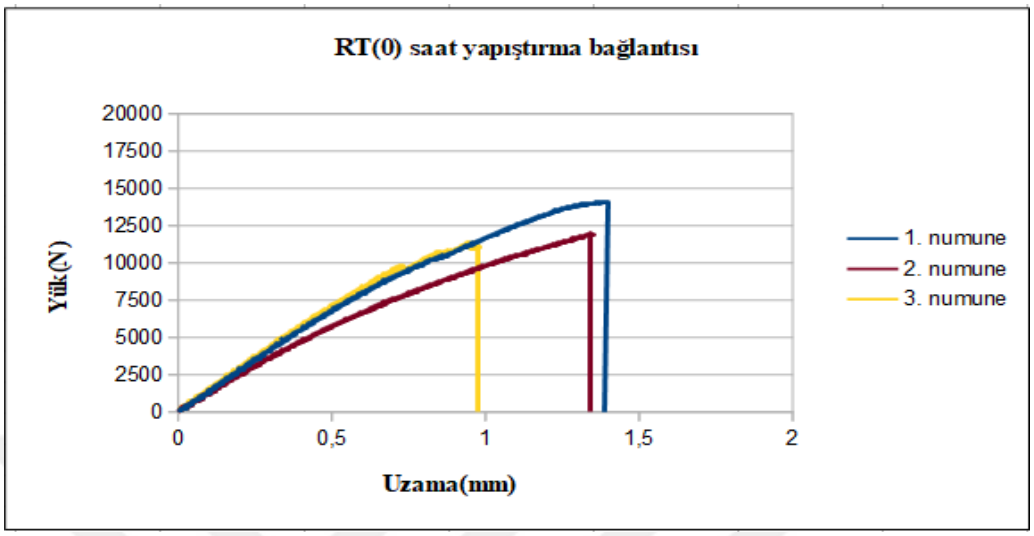
Maruz kalma süresi 1200 saatte ise sertlik değeri 21, 35 HV olup hafif bir artış gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.2. Yapıştırıcı numunesinin UV ışınlarına maruz kalma sürelerine bağlı olarak mikro-sertlik ölçüm cihazından elde edilen sertlik değerleri

UV maruz kalma süresi (Saat)	**Yapıştırıcı (HV)**
RT(0)	9,24
300	10,96
600	10,91
900	10,83
1200	9,86

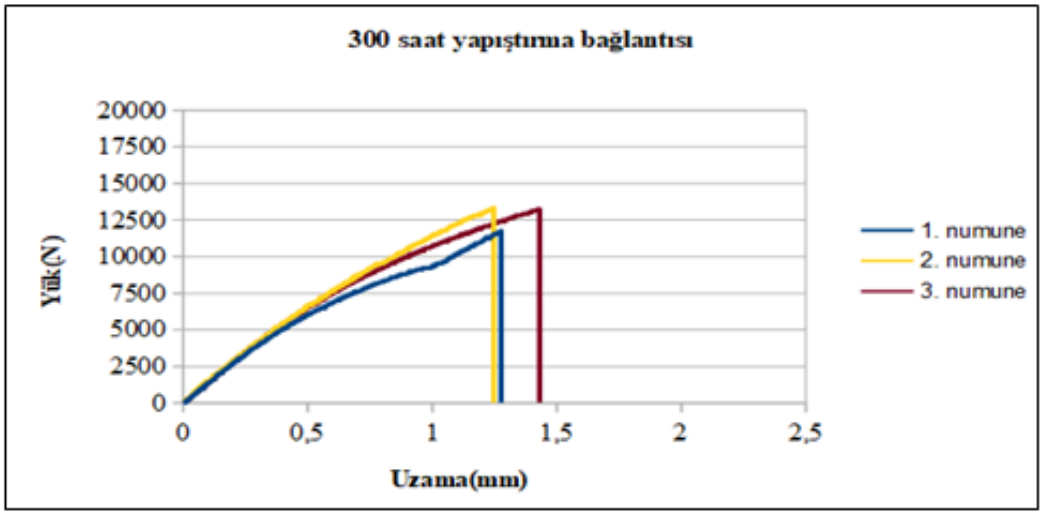
Mikro-sertlik ölçüm cihazından elde edilen verilere göre yapıştırıcı numunelerinin sertlik değerleri UV ışınlarına maruz kalma süresi 300 saatte 10,96 HV olup malzemenin sertliği artmıştır. UV ışınlarına maruz kalma süreleri 600, 900 ve 1200 saate çıkarıldığında ise sertlik değerleri sırasıyla 10,91 HV,10,83 HV ve 9,86 HV olup zamanla sertlik değerleri düşmüştür.

4.1.2. UV Işınlarına Maruz Kalan Tek Tesirli Yapıştırma Bağlantılarının Statik Çekme Deney Sonuçları



Şekil 4.1. UV ışınlarına maruz bırakılmayan tek tesirli yapıştırma bağlantısının statik çekme deneylerinden elde edilen yük-uzama değerleri

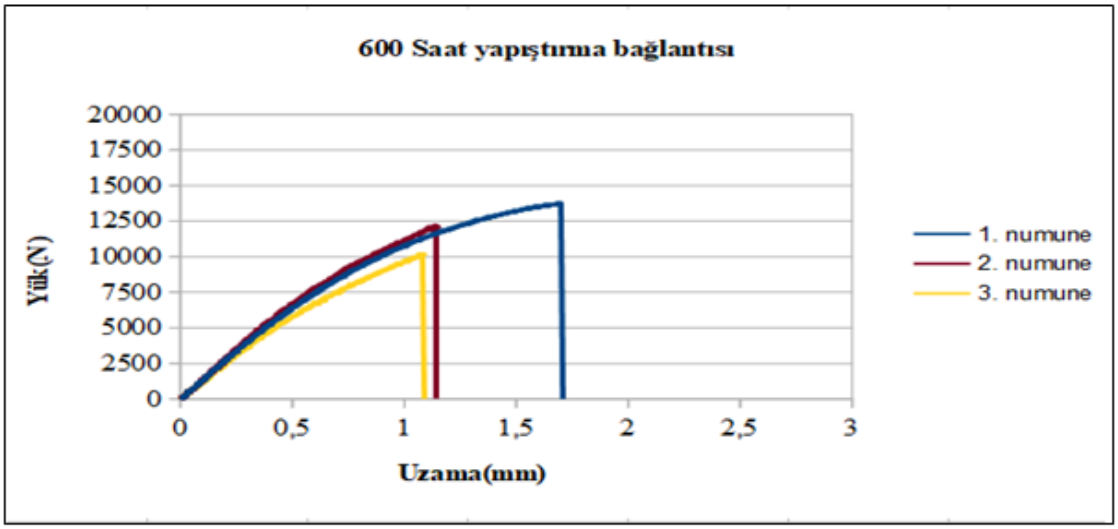
UV ışınlarına maruz bırakılmayan tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerinde grafik eğrileri doğrusal olarak artmakta olup anlık kırılmayla hasar meydana gelmektedir.



Şekil 4.2. 300 saat boyunca UV ışınlarına maruz bırakılan tek tesirli yapıştırma bağlantısının statik çekme deneylerinden elde edilen yük-uzama değerleri

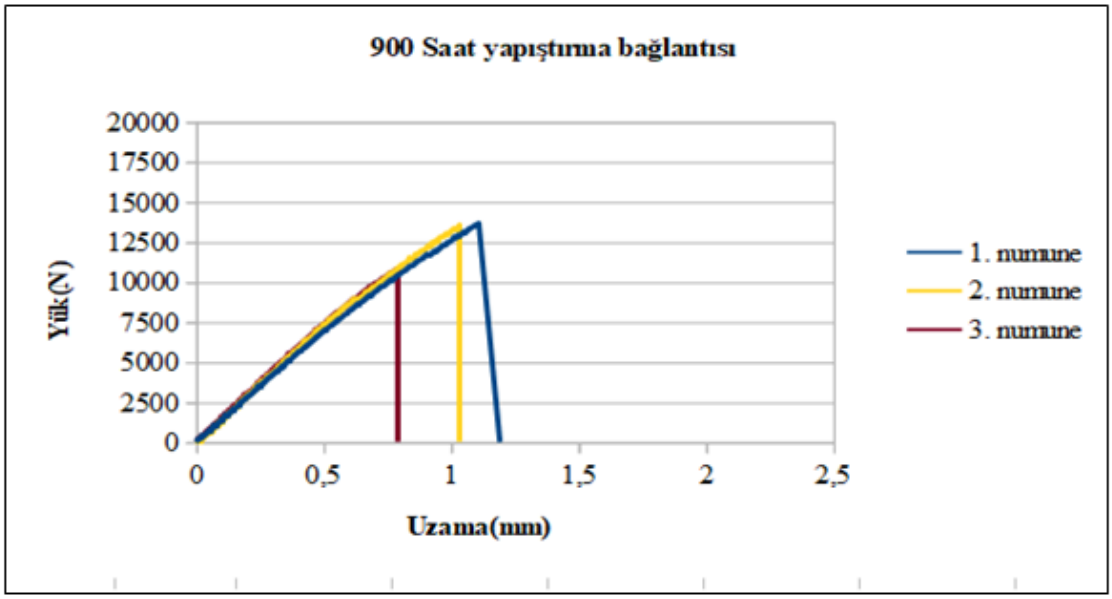
300 saat boyunca UV ışınlarına maruz bırakılan tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerinin grafik eğrilerinin hasar yükü 8000 N civarına kadar doğrusal olarak artmakta olup anlık kırılma gerçekleşene kadar hasar yükü artmaktadır. UV ışınlarına maruz bırakılmayan numunelere göre 300 saat boyunca UV ışınları maruz bırakılan

numunelerin hasar yükü yani mukavemeti artmıştır. Hasar yükünün artışına nispeten uzamada önemli bir değişim gözlemlenmemiştir.



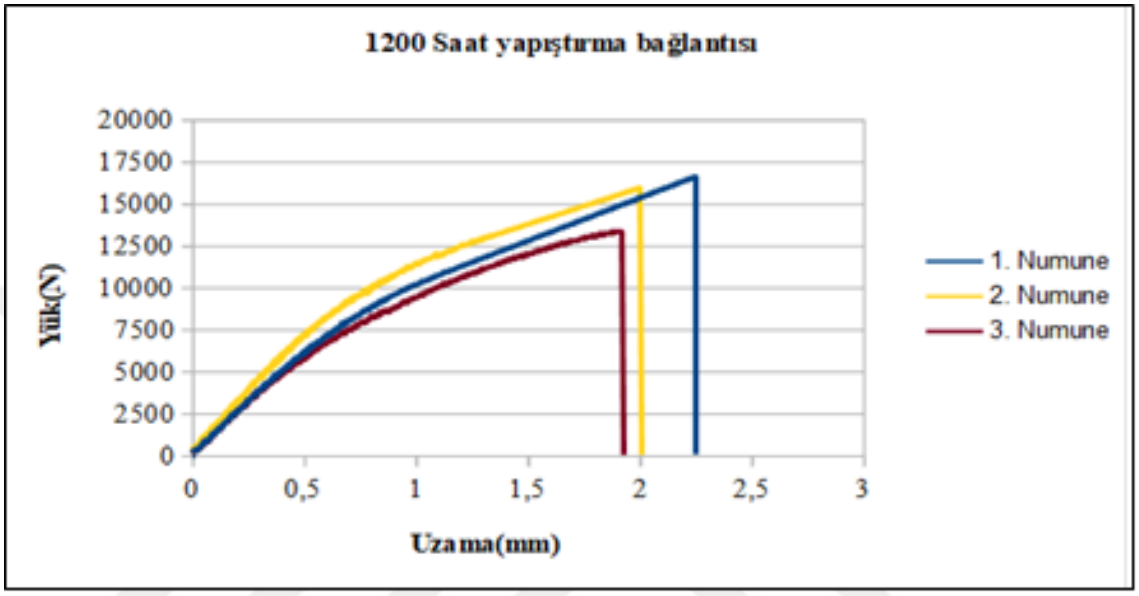
Şekil 4.3. 600 saat boyunca UV ışınlarına maruz bırakılan tek tesirli yapıştırma bağlantısının statik çekme deneylerinden elde edilen yük-uzama değerleri

600 saat boyunca UV ışınlarına maruz bırakılan tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerin grafik eğrileri 5000 N civarına kadar doğrusal olarak artmakta olup anlık kırılma gerçekleşene kadar hasar yükü artmaktadır. Hasar yükünün 300 saat boyunca UV ışın maruziyetine göre düşmüştür. Hasar yükü ile beraber uzama değerleri de düşmüştür.



Şekil 4.4. 900 saat boyunca UV ışınlarına maruz bırakılan tek tesirli yapıştırma bağlantısının statik çekme deneylerinden elde edilen yük-uzama değerleri

900 saat boyunca UV ışınlarına maruz bırakılan tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerin grafik eğrileri 10000 N civarına kadar doğrusal olarak artmakta olup anlık kırılma gerçekleşene kadar mukavemet artışı gözlemlenmektedir. 600 saat boyunca UV ışınlarına maruz bırakılan numunelere göre hasar yükü artmakta olup uzama değerleri düşmüştür.



Şekil 4.5. 1200 saat boyunca UV ışınlarına maruz bırakılan tek tesirli yapıştırma bağlantısının statik çekme deneylerinden elde edilen yük-uzama değerleri

1200 saat boyunca UV ışınlarına maruz bırakılan tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerin grafik eğrileri 2500 N civarına kadar doğrusal olarak artmakta olup mukavemet artış oranın azaldığı ve ani kırılma gerçekleşene kadar hasar yükü artmaktadır. 1200 saat boyunca UV ışınlarına maruz bırakılan numunelerin 600 saat boyunca maruz bırakılan numunelere göre hasar yük değerinin ciddi bir artış gösterdiğini aynı zamanda uzama miktarında da ciddi bir artış gözlemlenmiştir.

4.1.3. UV Işınlarına Maruz Kalan Gerinim Pulu Yapıştırılmış Cam Takviyeli Kompozit Levhaların ve Yapıştırıcının Deney Sonuçları

Bu bölümde gerinim pulu yapıştırılan numunelerin statik çekme test cihazında elde edilen gerilme ve uzama değerlerinin hooke kanunundaki formüller yardımıyla elastite modülü ve poisson oranı elde edildi.

UV ışınlarına maruz kalan kompozit levha numunelerin zaman parametrelerine göre mekanik özellikleri çizelge 4.3. de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. kompozit levhaların UV ışınlarına maruz kalma sürelerine bağlı olarak elde edilen mekanik özelliklerinin değerleri

UV maruz kalma süresi (saat)	**Çekme Mukavameti (MPa) (X_T)**	**Elastite modülü (MPa) (E_{11})**	**Possion oranı (v_{12})**	**Kayma modülü (MPa) (G_{12})**
Rt(0)	431,81	32760,22	0,27	2965,26
300	471,35	32244,28	0,25	2588,91
600	507,41	25876,59	0,24	3663,12
900	483,73	25793,91	0,24	3019,93
1200	618,18	25769,36	0,23	3476,68

UV ışınlarına maruz bırakılan cam takviyeli kompozit levhaların maruz kalma sürelerine bağlı olarak mekanik özelliklere bakıldığında elastite modülünün oda şartlarından UV ışını maruziyeti 1200 saatte çıkarıldığında 32760,22 MPA'dan 25769,36 MPa'a düşmüştür. Aynı şekilde possion oranı değerlerine bakıldığında da UV ışını maruziyeti oda şartlarından 1200 saate çıkarıldığında possion oranı değerleri 0,27'den 0,23 değerine düşmektedir. Kompozit levha üzerinde UV etkisiyle beraber hem elastite modülü hem de possion oranı değerlerini düşürmüştür.

UV ışınlarına maruz bırakılan kompozit levha numunelerinin maruziyet süreleri artırıldıkça çekme mukavemetide artmıştır. En yüksek artışın gerçekleştiği zaman dilimi 1200 saatlik maruziyet parametresi olmuştur.

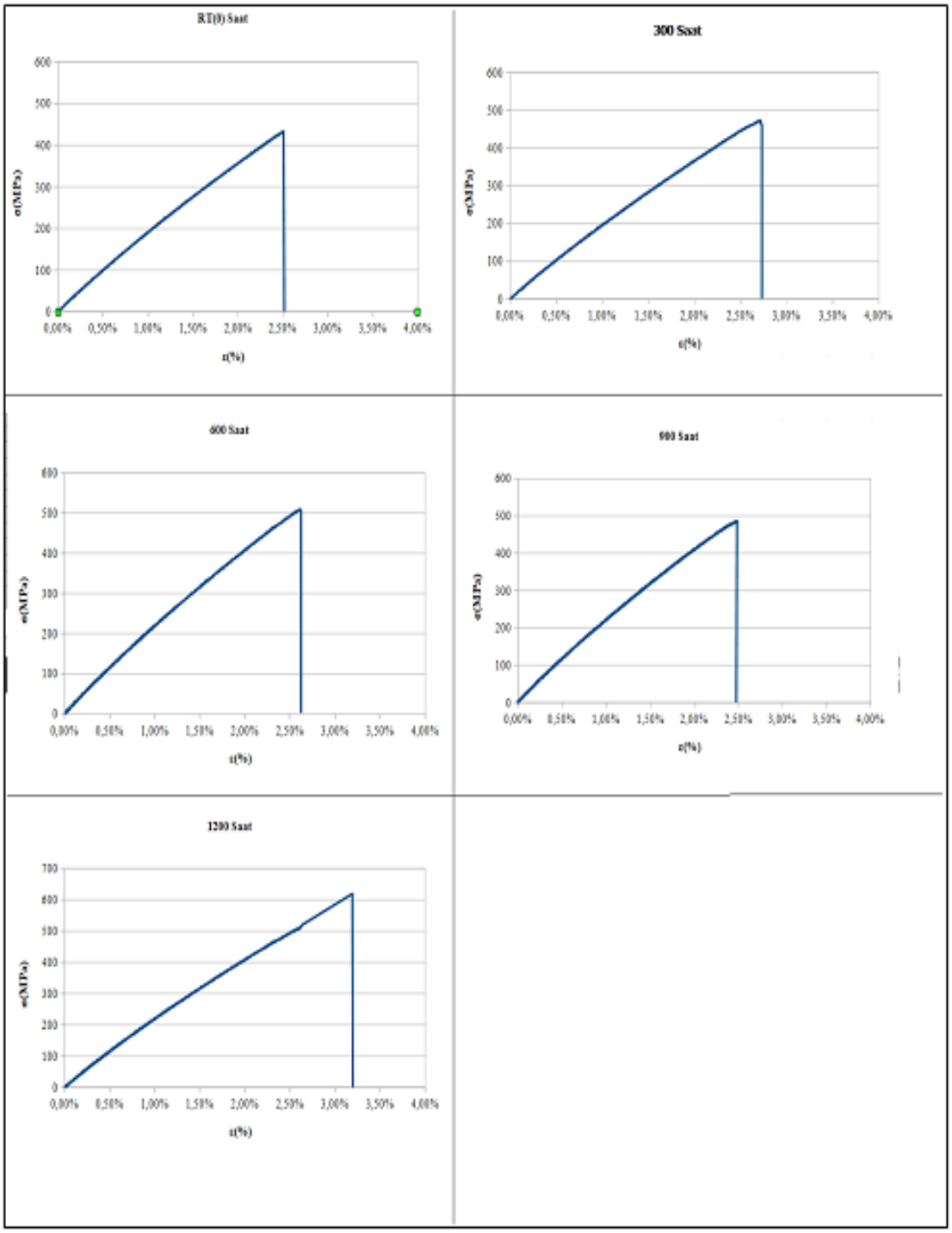
Çizelge 4.3'e bakıldığında kompozit levha numunelerinin belirli UV maruziyet sürelerine bakıldığında kayma modülü değerlerinin değişkenlik gösterdiğini, ancak oda şartlarındaki kompozit numunesine göre 300 saatlik zaman diliminde kayma modülü değerlerinin azaldığını ama 600, 900 ve 1200 saatlik zaman dilimlerinde ise oda şartlarındaki kompozit levha numunelerindeki kayma modülü değerlerine göre kayma modülü değerleri artmıştır.

UV ışınlarına maruz kalan yapıştırıcı numunesinin zaman parametrelerine göre mekanik özellikleri çizelge 4.4.'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Yapıştırıcı numunelerinin UV ışınlarına maruz kalma sürelerine bağlı olarak elde edilen mekanik özelliklerinin değerleri

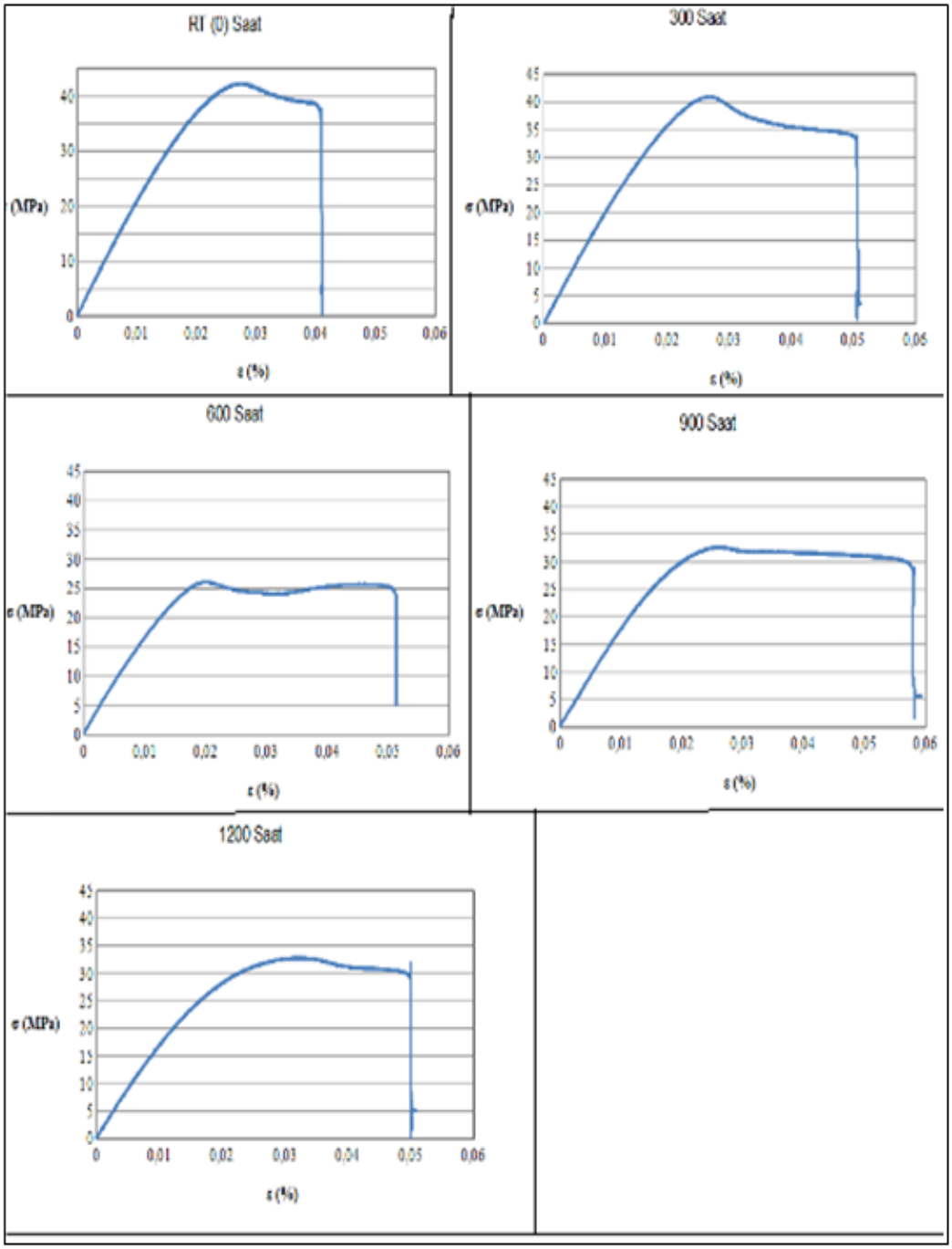
UV maruz kalma süresi (saat)	**Akma mukavemeti (MPa)** (σ_{AK})	**Elastisite modülü (MPa)** (E_{11})	**Poisson oranı** (ν_{12})
RT(0)	31,51	2257,98	0,11
300	32,93	2161,49	0,11
600	29,75	2443,61	0,15
900	26,15	2545,58	0,13
1200	21,51	2264,52	0,11

UV ışınlarına maruz bırakılan yapıştırıcı numunelerin değerlerine bakıldığında UV ışının maruziyet süresinin artırılmasıyla akma mukavemeti azalmıştır. Yapıştırıcının possion oranı değerlerinde çok önemli değişiklikler oluşturmadığı gözlemlenmiştir. Yapıştırıcının Elastite modülü değerlerinin UV maruziyet sürelerine bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Akma mukavemeti ise marizyet zamanı artırıldıkça düştüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 4.6. UV ışınlarına maruz kalan kompozit levha numunelerinin gerilme-şekil değiştirme grafikleri

Genel olarak grafik eğrilerine bakıldığında UV ışınlarına maruz bırakılan kompozit levha numunelerin uzamaya bağlı olarak çekme gerilmeleri artmıştır. Çekme gerilmesinin en çok artığı UV maruziyet dilim 1200 saatlik maruziyet parametresi olmuştur. UV ışınları cam takviyeli kompozit levhanın mukavemetini artırmıştır.



Şekil 4.7. UV ışınlarına maruz kalan yapıştırıcı numunelerinin gerilme-şekil değiştirme grafikleri

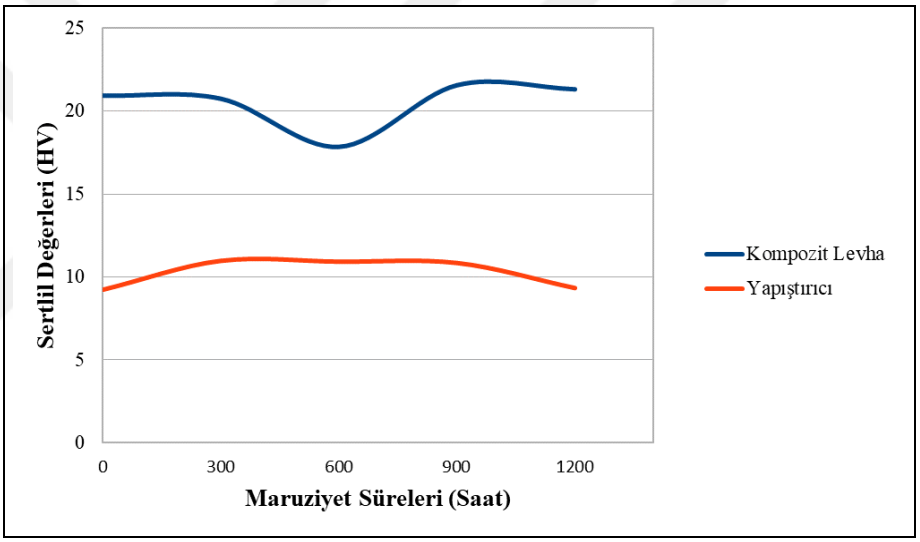
Genel olarak grafik eğrileri incelendiğinde gerilme değerlerinin 15 MPa civarına kadar linner artığını ve akma mukavemeti değerlerinin UV maruziyet sürelerine bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Oda şartlarındaki yapıştırıcı numunelerine göre akma sınır değerleri 300, 600, 900 ve 1200 saatlik zaman dilimlerinde düşmüştür. Akma sınır değerlerinde en yüksek düşüşün gerçekleştiği zaman dilimi 600 saatlik UV maruziyet parametresi olup, akma sınır değerlerin en düşük düşüşün gerçekleştiği zaman dilimi ise 300 saatlik UV maruziyet parametresi olmuştur.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Elde Edilen Deney Sonuçların Grafikler ve Çizelgeler İle Açıklanması

Bu bölümde belirli zaman parametrelerinde UV ışınlarına maruz bırakılan kompozit levha ve yapıştırıcı numunelerinin mikro-sertlik deney sonuçları ve gerinim pulu yapıştırılmış numunelerin statik çekme deney sonuçları ayrıca tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerinin statik çekme deney sonuçları grafik ve çizelgeler ile sunulmuştur.

5.1.1. UV Işın Maruziyeti Sonrasında Kompozit Levha Ve Yapı Numunelerin Mikro-Sertlik Deney Sonuçları



Şekil 5.1. UV ışınlarına maruz kalan kompozit levha ve yapıştırıcıdan elde edilen sertlik değerlerinin grafiği

Grafik eğrileri incelendiğinde fiber takviye açısı 0º olan kompozit levhanın 900 saatlik UV ışın maruziyetine kadar sertlik değerleri düşüp, 900 saatlik UV maruziyetinden sonra ise sertlik değerleri tekrar artmıştır. Genel olarak grafik eğrileri incelendiğinde 600 saatlik UV ışını maruziyeti dışında 1200 saatlik zaman dilimine kadar yapıştırıcı ve kompozit levha üzerinde UV-A tipi ışınlarının numuneler üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır.

Yapıştırıcının sertlik değerleri 300 saatlik UV ışın maruziyetinden sonra arttığı görülmektedir. 300 saatlik maruziyetten sonra 900 saatlik maruziyetine kadar yapıştırıcının sertliğinde önemli bir değişim görülmemiştir. 1200 saatlik UV ışın maruziyetinden sonra yapıştırıcı numunesinin sertlik değeri çok küçük bir miktarda da

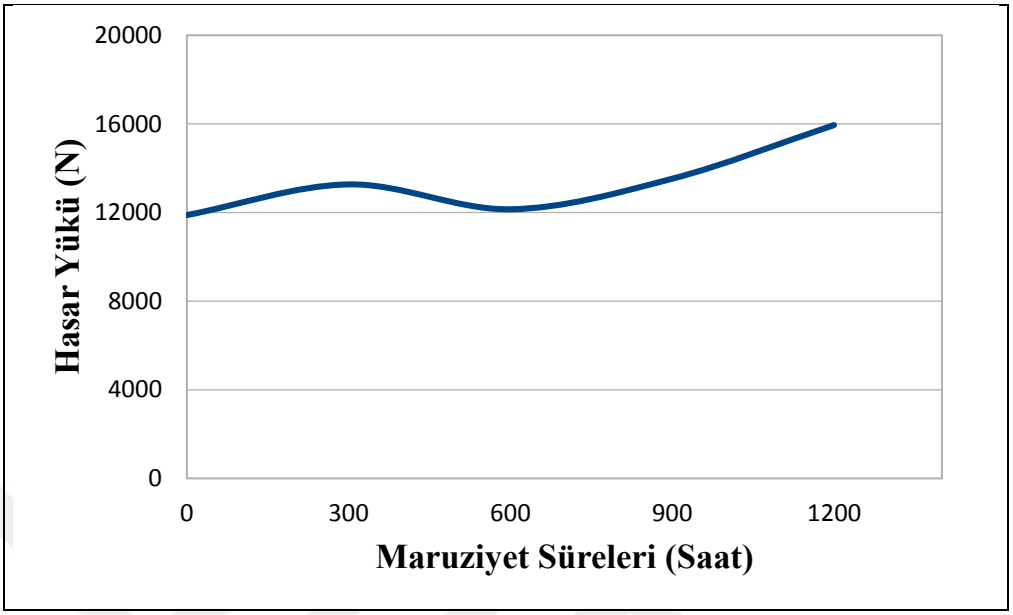
olsa bile düşmüştür. UV ışınları yapıştırıcı numunelerinin belirli bir süreye kadar sertliğini çok az miktarda artırmış olsa bile 1200 saatlik zaman diliminden sonra sertlik değerleri düşmüştür.

Çizelge 5.1. Kompozit levhaların ve yapıştırıcı numunelerinde sertlik değerlerindeki yüzdelik değişimler

UV maruz kalma süresi	**Kompozit levhanın sertlik değeri (HV)**	**Yapıştırıcının sertlik değeri (HV)**
RT(0) saat	20,94	9,24
300 saat	20,75	10,96
Yüzdelik değişim (%)	-0,96	19,13
600 saat	17,84	10,91
Yüzdelik değişim (%)	-13,82	-0,46
900 saat	21,57	10,83
Yüzdelik değişim (%)	20,91	-0,73
1200 saat	21,32	9,34
Yüzdelik değişim (%)	-1,25	-14,13
(-) değerin azaldığını, (+) ise arttığını göstermektedir.		

Çizelgedeki yüzdelik değişimler incelendiğinde yapıştırıcının sertlik değerinde 300 saatlik zaman dilimine kadar % 19,13 değeri ile artış görülürken, 300 saatlik zaman diliminden sonra ise yapıştırıcının sertlik değerlerinde yüzdelik azalmalar görülmüştür. 300 saatlik zaman diliminden 900 zaman diliminde yüzdelik azalma değeri çok düşük olurken, 1200 saatlik zaman diliminde ise yapıştırıcının sertlik değeri % 14,13 azalma değeri ile en yüksek yüzdesel düşüş olmuştur.

5.1.2. UV Işın Maruziyeti Sonrasında Tek Tesirli Yapıştırma Bağlantı Numunelerinin Hasar Yükü Değişim Sonuçları



Şekil 5.2. UV ışınlarına maruz kalan tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerinin hasar yükü değerlerinin grafiği

Grafik eğrileri incelendiğinde tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerinin UV ışınlarına maruziyeti sonrasında hasar yükü değerinin en yüksek olduğu zaman dilimi 1200 saatlik UV ışınlarına maruz kalma süresidir. 1200 saatlik zaman diliminde hasar yükü 15947 N olup UV ışınlarının numune üzerindeki etkisinin en yüksek olduğu zaman aralığıdır. 600 saatlik zaman diliminde hasar yükünün 300 saatlik zaman dilimindeki hasar yükü değerine göre düşmüştür. Genel olarak grafik eğrilerine bakıldığında hasar yükünün UV ışınlarına maruz bırakılmayan tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerine göre sürekli bir artış eğiliminde olduğu görülmektedir. UV-A tipi ışınların tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerin mukavemetinin artışında olumlu bir etki yarattığını söyleyebiliriz.

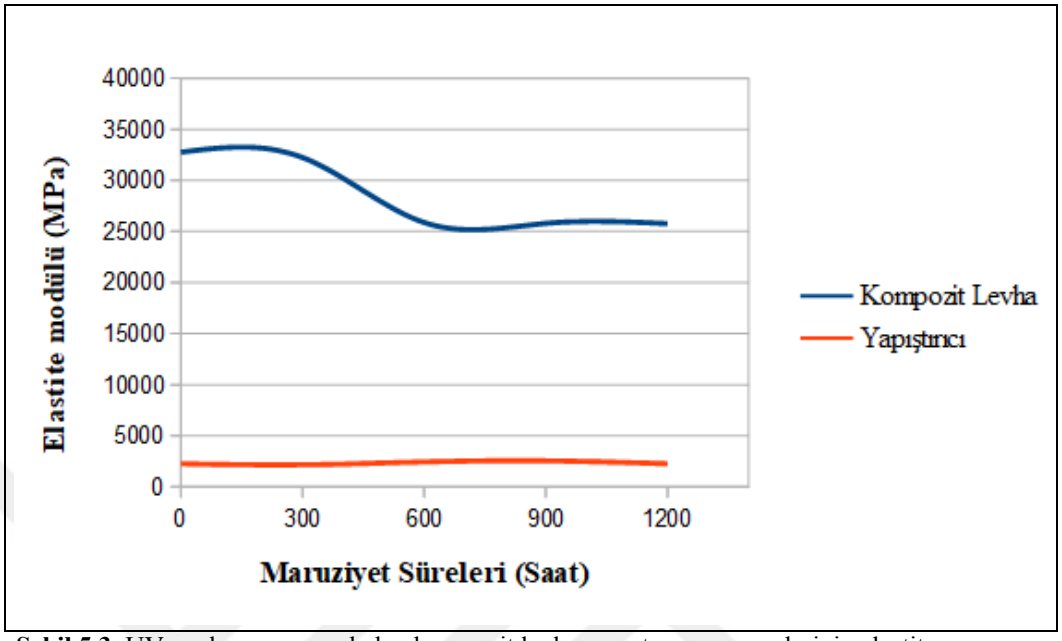
Çizelge 5.2. Tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerinde hasar yükü değerlerindeki yüzdelik değişimler

UV maruz kalma süresi(saat)	**Hasar yükü (N) (P)**	**Zamana göre değişim oranı (%)**	**Oda sıcaklığına (RT) göre değişim oranı (%)**
RT(0)	11883,75		
300	13269,15	11,66	11,66
600	12147,21	-8,46	2,22
900	13526,54	11,36	13,82
1200	15947,38	17,9	34,19
(-) değerin azaldığını, (+) ise arttığını göstermektedir.			

Çizelgede zamana göre yüzdesel değişimler incelendiğinde 600 saatlik maruziyet diliminde hasar yükü yüzdesel olarak düştüğü ve hasar yükünün yüzdesel değerinin en yüksek olduğu zaman dilimi ise % 17,90 artışla 1200 saatlik maruz kalma dilimidir.

Çizelgede UV ışınlarına maruz bırakılmayan numunelere göre yüzdesel değişimler incelendiğinde genel olarak tüm zaman dilimlerinde yüzdesel artış olmuştur. En yüksek yüzdesel artışın olduğu zaman dilimi % 34,19 gibi bir artış ile 1200 saatlik maruziyet dilimi, en düşük yüzdesel artışın olduğu zaman dilimi ise % 2,22 gibi bir artış ile 600 saatlik maruziyet olmuştur.

5.1.3. UV Işın Maruziyeti Sonrasında Kompozit Levhaların ve Yapıştırıcının Mekanik Özelliklerindeki Değişim Sonuçları



Şekil 5.3. UV ışınlarına maruz kalan kompozit levha yapıştırıcı numunelerinin elastite modülleri değerlerinin grafiği

Genel olarak grafik eğrilerine bakıldığında UV ışınlarına maruz bırakılan kompozit levhalarının elastite modülü değerleri maruziyet süresinin artırılmasıyla düşmekte olduğu görülmektedir. Elastite modülü değerinin en keskin düştüğü zaman dilimi 600 saatlik maruziyet parametresi olup, 32244 MPa'dan 25876 MPa'a düşmüştür. 900 saatlik maruziyetten 1200 saatlik maruziyet sonrasına elastite modülündeki düşüş çok az miktarda olsa bile düşüş eğilimi devam etmektedir.

Genel olarak grafik eğrilerine bakıldığında UV ışınlarına maruz bırakılan yapıştırıcı numunelerinde elastite modülü değerlerinde önemli bir değişim görülmemektedir. Yani yapıştırıcı numunesi üzerinde UV ışınlarının etkisiyle birlikte elastite modülünde önemli bir etkide bulunmamıştır.

Çizelge 5.3. Kompozit levha numunelerinde elastite modülü değerlerindeki yüzdelik değişimler

UV maruz kalma süresi (saat)	**Elastite modülü (MPa) (E_{11})**	**Zamana göre değişim oranı (%)**	**Oda sıcaklığına (RT) göre değişim oranı (%)**
RT(0)	32760,22		
300	32244,28	-1,57	-1,57
600	25876,59	-19,75	-21,01
900	25793,76	-0,32	-21,26
1200	25769,36	-0.09	-21,34
(-) değerin azaldığını, (+) ise arttığını göstermektedir.			

Çizelgede Zamana göre değişim oranının yüzdesel değişimlerine bakıldığında elastite modülü değerlerindeki en yüksek yüzdesel düşüşün gerçekleştiği zaman parametresi 600 saatlik UV maruziyeti ile % 19,75 olup ve en düşük yüzdesel düşüşün olduğu zaman parametresi ise 1200 saatlik UV maruziyetiyle % 0,09 olmuştur.

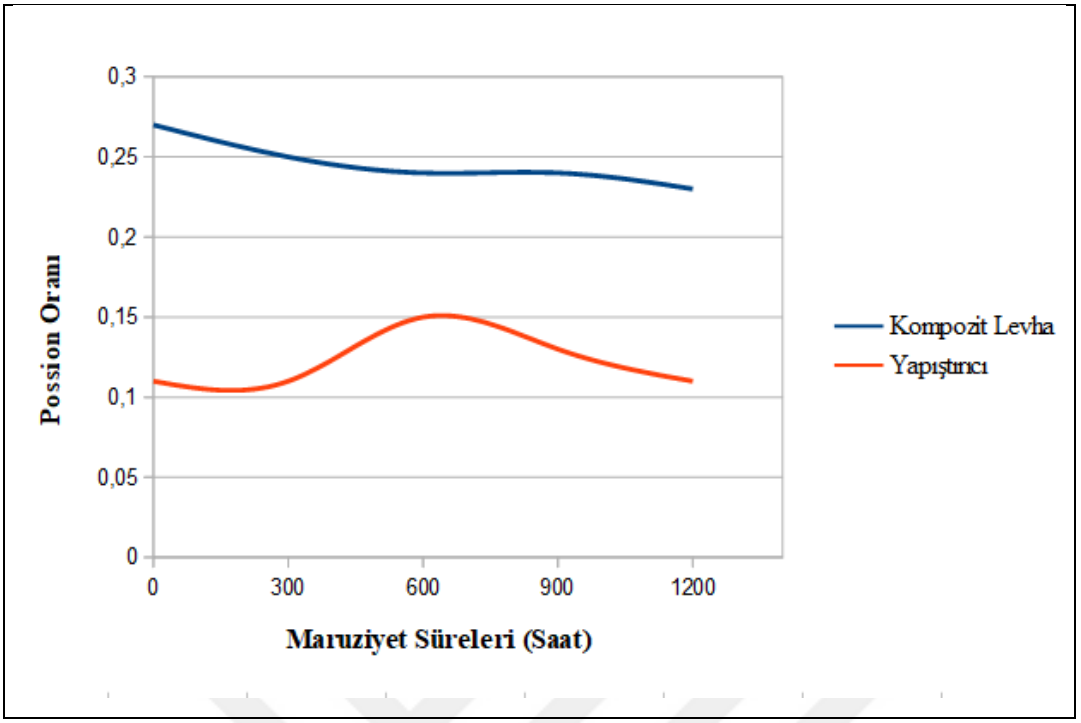
Çizelgede UV ışınlarına maruz bırakılmayan kompozit levha numunelerine göre UV ışınlarına bırakılan numunelerin bütün maruz kalma parametrelerinde elastite modülü yüzdesel olarak düşüp, 1200 saatlik maruziyet diliminde elastite modülü % 21,34 kadar düşmüştür. Elastite modülü değerlerinde en keskin yüzdesel düşüşün görüldüğü zaman dilimi 600 saatlik zaman parametresidir.

Çizelge 5.4. Yapıştırıcı numunelerinde elastite modülü değerlerindeki yüzdelik değişimler

UV maruz kalma süresi (saat)	**Elastite modülü (MPA) (E_{11})**	**Zamana göre değişim oranı (%)**	**Oda sıcaklığına (RT) göre değişim oranı (%)**
RT(0)	2257,98		
300	2161,49	-4,27	-4,27
600	2443,61	13,05	8,22
900	2545,58	4,17	12,74
1200	2264,52	-11,04	0,29
(-) değerin azaldığını, (+) ise arttığını göstermektedir.			

Çizelgede zamana göre yüzdesel değişimlere bakıldığında yapıştırıcı numunelerinin elastite modülü değerleri 300 saatlik zaman parametresinde % 4,27 kadar azaldığını ancak UV ışını maruziyet süresi 600 saatte çıkarıldığında, 300 saatlik zaman dilimine göre % 13,05 kadar artış göstermiştir. UV ışını maruz kalma süresi 900 saatte çıkarıldığında bir önceki zaman dilimine göre % 4,17 kadar artış gösterirken, 1200 saat zaman diliminde ise 900 saatlik zaman dilimine göre elastite modülü değerleri % 11,04 kadar düşmüştür.

Çizelgede UV ışınlarına maruz bırakılmayan yapıştırıcı numunelerine göre yüzdesel değişimler incelendiğinde elastite modülü değerlerinin tek düştüğü zaman dilimi 300 saatlik UV maruz kalma parametresidir. Yapıştırıcı numunelerinde elastite modülü değerlerinde en yüksek yüzdesel artışın gözlemlendiği UV maruz kalma parametresi 900 saatlik diliminde % 12,74 kadar olup, en düşük yüzdesel artışın olduğu UV maruz dilimi ise 1200 saatlik maruz kalma diliminde % 0,29 olmuştur,



Şekil 5.4. UV ışınlarına maruz kalan kompozit levha yapıştırıcı numunelerinin possion oranı değerlerinin grafiği

Grafik eğrileri incelendiğinde kompozit levha numunelerinin possion oranı değerleri UV ışınlarının maruziyet süresi artırılmasıyla düşüş eğilimi göstermiştir. 600 saatlik zaman diliminden 900 saatlik zaman dilimine çıkarılmasıyla possion oranı değişkenlik göstermemiştir. Yani genel olarak grafik eğrilerine baktığımızda UV ışınları kompozit levha numunelerinin possion oranını düşürdüğünü söyleyebiliriz.

Yapıştırcı numuneleri için grafik eğrileri incelendiğinde possion değerleri 600 saatlik zaman dilime kadar artmakta olduğu gözlemlenirken, 900 ve 1200 saatlik zaman diliminde ise possion oranı tekrar düşmüştür. Yani yapıştırıcı numunesi üzerinde possion oranı değerleri açısından bakıldığında 600 saatlik maruziyet dilimi pik nokta olmuştur.

Çizelge 5.5. Kompozit levha numunelerinde possion oranı değerlerindeki yüzdelik değişimler

UV maruz kalma süresi (saat)	**Possion oranı (v_{12})**	**Zamana göre değişim oranı (%)**	**Oda sıcaklığına (RT) göre değişim oranı (%)**
RT(0)	0,27		
300	0,25	-7,41	-7,41
600	0,24	-4	-11,11
900	0,24	0	-11,11
1200	0,23	-4,17	-14,81
(-) değerin azaldığını, (+) ise arttığını göstermektedir.			

Çizelgede zamana göre yüzdesel değişimler incelendiğinde kompozit levha numunelerinin possion oranı değerlerinde en yüksek yüzdesel düşüş 300 saatlik UV maruziyet diliminde % 7,41 kadar olup, en düşük yüzdesel düşüş ise 900 saatlik zaman diliminde % 0 kadar olmuştur.

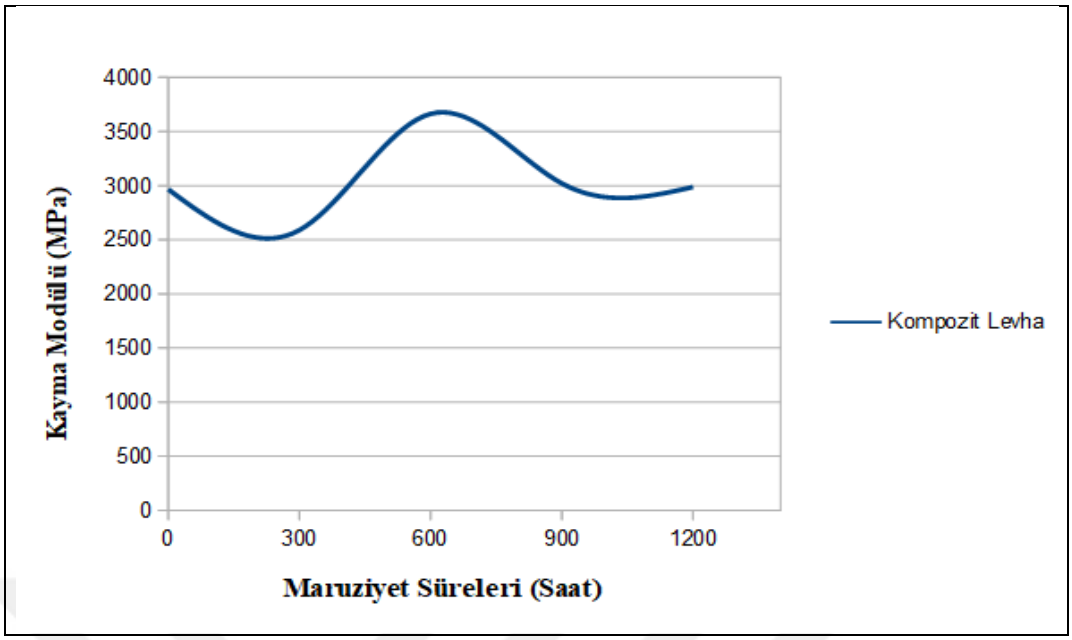
Çizelgede UV ışınlarına maruz bırakılmayan kompozit levha numunelerine göre possion oranı değerlerinde en yüksek yüzdesel düşüş 1200 saatlik zaman diliminde olup, en düşük yüzdesel düşüş ise 300 saatlik maruziyet diliminde % 7,41 kadar olmuştur. 900 saatlik maruziyet diliminde kompozit levhanın possion oranı yüzdesel olarak değişmemiştir.

Çizelge 5.6. Yapıştırıcı numunelerinde possion oranı değerlerindeki yüzdelik değişimler

UV maruz kalma süresi (saat)	**Possion oranı (v_{12})**	**Zamana göre değişim oranı (%)**	**Oda sıcaklığına (RT) göre değişim oranı (%)**
RT(0)	0.11		
300	0,11	0	0
600	0,15	36,36	36,36
900	0,13	-13,33	18,18
1200	0,11	-15,38	0
(-) değerin azaldığını, (+) ise arttığını göstermektedir.			

Çizelgede zamana göre yüzdesel değişimler incelendiğinde yapıştırıcı numunelerinin possion oranı değerleri için 300 saatlik UV maruziyet süresinde yüzdesel bir değişim görülmemiştir. Ancak 300 saatlik maruziyet dilimine göre 600 saatlik maruziyet diliminde yapıştırıcı numunelerinin possion oranı % 36,36 kadar artmıştır. 900 saatlik maruz kalma diliminde kompozit levhanın possion oranı bir önceki zaman dilimine göre % 13,33 azalmakta olup, 1200 saatlik maruz kalma diliminde ise bir önceki zaman dilimine göre % 15,38 kadar düşmüştür.

Çizelgede UV ışınlarına maruz bırakılmayan yapıştırıcı numunelerine göre possion oranı değerlerindeki en yüksek yüzdesel artış 600 saatlik maruziyet diliminde % 36,36 olup, 300 saatlik ve 1200 saatlik zaman dilimlerinde yüzdesel bir değişim olmamıştır.



Şekil 5.5. UV ışınlarına maruz kalan kompozit levha numunelerinin kayma modülü değerlerinin grafiği

Grafik eğrilerine bakıldığında kompozit levha numunelerinin kayma modülü değerlerinin 300 saatlik UV ışını maruziyetinden sonra azaldığı görülmekte olup, 600, 900 ve 1200 saatlik UV ışını maruziyettinden sonra ise kayma modülü değerleri artmaktadır. Kayma modülünün en çok arttığı zaman dilimi 600 saatlik maruz kalma süresi ile 3663,1 MPa iken en az olduğu zaman dilimi ise 300 saatlik maruz kalma süresi ile 2588,91 MPa kadar olmuştur.

Çizelge 5.7. Kompozit levha numunelerinde kayma modülü değerlerindeki yüzdelik değişimler

UV maruz kalma süresi (saat)	**Kayma modülü(MPa) (G_{12})**	**Zamana göre değişim oranı (%)**	**Oda sıcaklığına (RT) göre değişim oranı (%)**
RT(0)	2965,26		
300	2588,91	-12,69	-12,69
600	3663,12	41,49	23,53
900	3019,93	-17,56	1,84
1200	2987,68	15,12	17,25
(-) değerin azaldığını, (+) ise arttığını göstermektedir.			

Çizelgede bir önceki zaman dilimine göre yüzdesel değişimlere bakıldığında kompozit levha numunelerinin kayma modülü değerleri 300 saatlik UV maruziyet diliminde ve 900 saatlik UV maruziyet diliminde bir öncekine zaman dilimine göre sırasıyla % 12,69 ve % 17,56 kadar düşmüştür. 600 saatlik zaman diliminde ve 1200 saatlik zaman diliminde ise kayma modülü değerleri bir önceki zaman dilimine göre sırasıyla % 41,49 ve % 15,12 kadar artmıştır. Kayma modülü değerinin yüzdesel olarak en yüksek artış gösterdiği zaman parametresi 600 saatlik UV maruziyeti olup % 41,49 kadar olmuştur.

Çizelgede UV ışınlarına maruz bırakılmayan kompozit levha numunelerine göre kayma modülü değerlerindeki yüzdesel değişimler incelendiğinde en yüksek yüzdesel artışın gerçekleştiği zaman 600 saatlik UV maruziyeti olup % 23,53 kadar artmıştır. Kompozit levha numunelerinin kayma modülünün tek düştüğü zaman dilimi 300 saatlik UV maruziyeti olup % 12,69 kadar düşmüştür.

5.2. Tek Tesirli Yapıştırma Bağlantı Numunelerinde Deneysel Çalışma Sonucu Ortaya Çıkan Hasar Tipleri

Adhezyon hasar tipinde kopmanın gerçekleştiği yer yapıştırıcı olurken kopma fiberlerde gerçekleştiğinde ise kohezyon hasar tipi meydana gelir. Birleşik hasar tipinde kopma hem yapıştırıcıda hem de fiberlerde meydana gelmektedir.

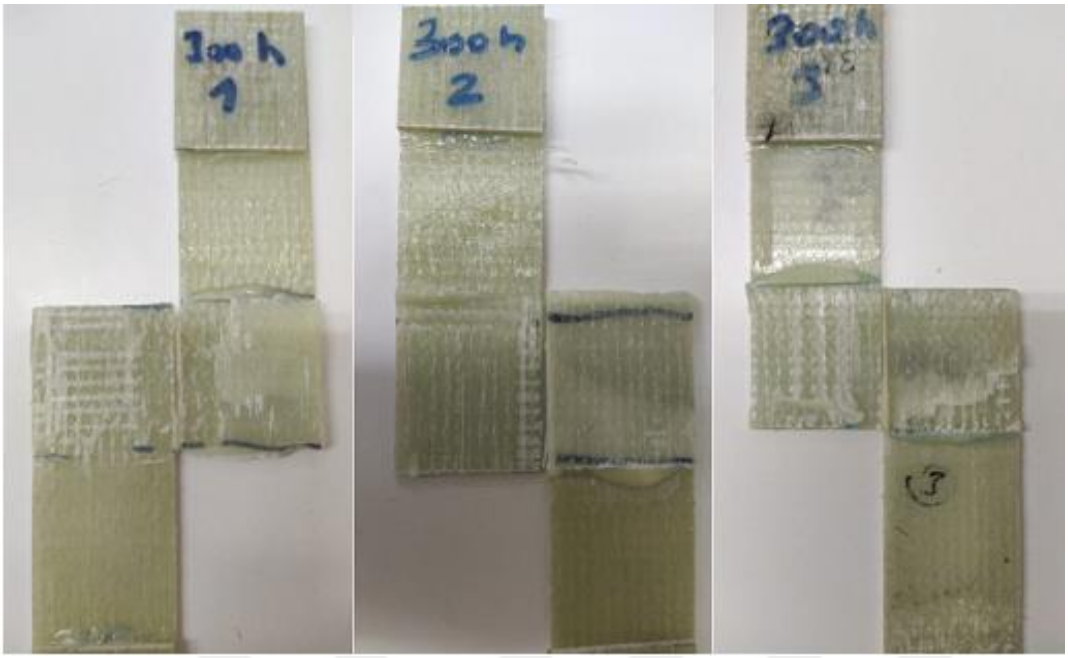
Tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerinin UV maruziyeti sonrasında statik çekme deneyleri yapıldıktan sonra numuneler incelendiğinde yapıştırma bağlantı noktalarında birleşik hasar tipi ve adhezyon hasar tipi meydana gelmiştir. Çizelge 5.8 incelendiğinde genel olarak tek tesirli yapıştırma bağlantıları numunelerinde birleşik hasar tipi meydana gelmiştir.

Çizelge 5.8. UV ışınlarına maruz kalan tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerinde ortaya çıkan hasar tipleri

UV maruz kalma süresi (saat)	**1. Numune**	**2. Numune**	**3. Numune**
RT(0)	Birleşik hasar	Birleşik hasar	Birleşik hasar
300	Birleşik hasar	Birleşik hasar	Birleşik hasar
600	Birleşik hasar	Birleşik hasar	Adhezyon hasarı
900	Birleşik hasar	Birleşik hasar	Adhezyon hasarı
1200	Birleşik hasar	Birleşik hasar	Birleşik hasar



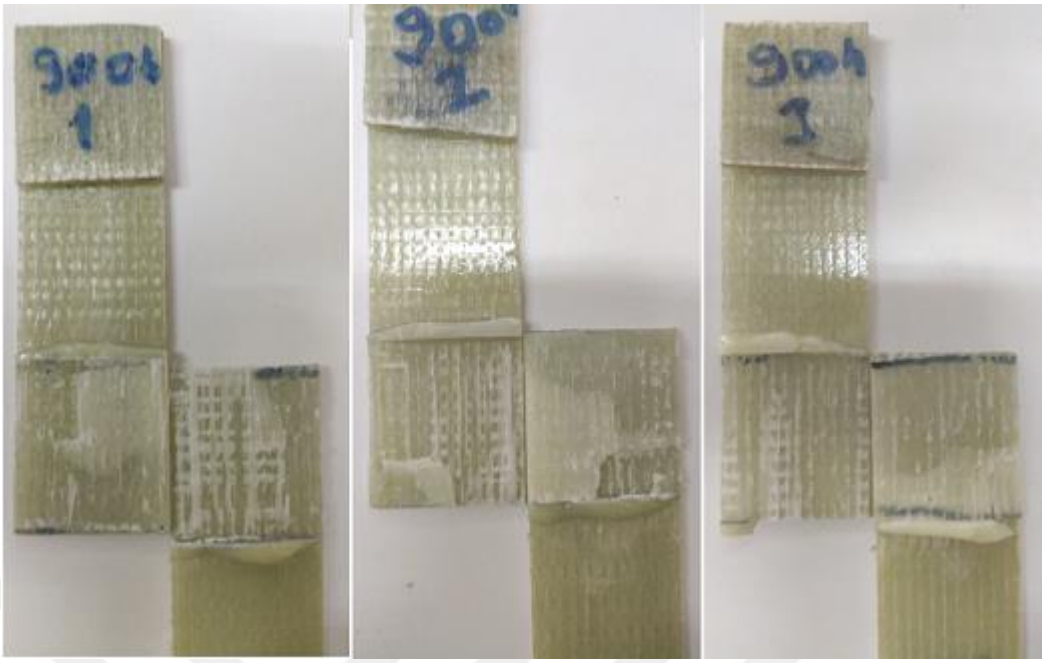
Şekil 5.6. Oda şartlarındaki tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerinde oluşan hasar tipleri



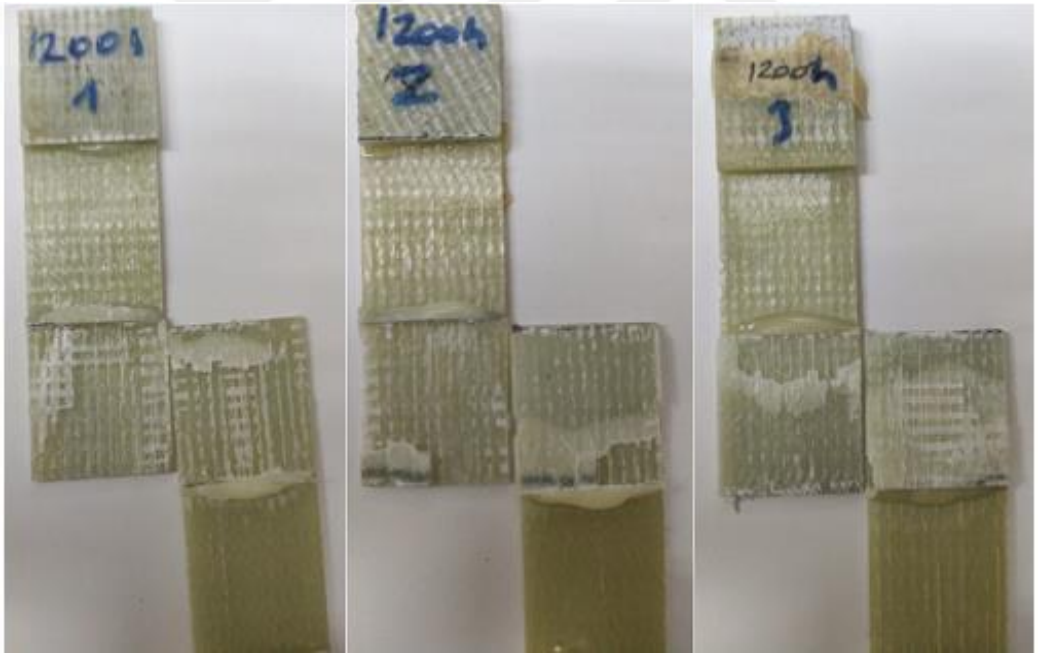
Şekil 5.7. 300 saat UV ışınlarına maruz bırakılan tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerinde oluşan hasar tipleri



Şekil 5.8. 600 saat UV ışınlarına maruz bırakılan tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerinde oluşan hasar tipleri



Şekil 5.9. 900 saat UV ışınlarına maruz bırakılan tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerinde oluşan hasar tipleri



Şekil 5.10. 1200 saat UV ışınlarına maruz bırakılan tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerinde oluşan hasar tipleri

5.3. Sonuç ve Değerlendirme

UV ışınlarına maruz bırakılan tek tesirli yapıştırma bağlantıları, kompozit levha ve yapıştırıcının mekanik özelliklerindeki değişimler sertlik değerlerindeki değişimler ve hasar tipleri aşağıda sıralanmıştır.

- Kompozit levhanın sertlik değeri 600 saatlik UV ışını maruziyet dilimine kadar düşmekte olup 900 ve 1200 saatlik maruziyet sürelerinden sonra sertlik değeri artmıştır.

- Yapıştırıcının sertlik değerleri 900 saatlik UV ışını maruziyet dilimine kadar çok hafif bir artış değeri göstermiştir. Yani genel olarak yapıştırıcının sertliğinde önemli bir değişim olmamıştır.

- Kompozit levhanın elastite değerleri UV ışınlarına maruz bırakılmayan kompozit levha numunelerine göre UV ışınlarına bırakılan numunelerin bütün maruz kalma parametrelerinde elastite modülü yüzdesel olarak düşüp, 1200 saatlik maruziyet diliminde elastite modülü % 21,34 kadar azalmıştır. Yan ve ark. (2015) ultraviyole (UV) radyasyonu ve su püskürtmenin, keten kumaş takviyeli epoksi kompozitin mekanik özellikleri üzerindeki birleşik etkisini incelediklerinde kompozitlerin çekme mukavemetinin ve elastite modülünün sırasıyla % 29.9 ve % 34.9 azaldığını göstermişlerdir.

- Kompozit levhanın kayma modülü değerleri 300 saatlik UV ışını maruziyetinden sonra düşmekte olup 600, 900 ve 1200 saatlik maruziyet parametrelerinde ise kayma modülü değerleri tekrar artmıştır. Oda şartlarındaki numunelere göre en yüksek artışın gerçekleştiği UV ışını maruziyet dilimi 600 saatlik zaman parametresinde gerçekleşmiştir.

- UV ışınlarına maruz kalan tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerinde genel olarak hasar yükü artmıştır. Oda şartlarındaki numunelerin hasar yüküne göre hasar yükünün en çok artığı zaman dilimi 1200 saatlik UV ışını maruziyet dilimi olup % 34,19 kadar artmıştır.

- UV ışınlarına maruz bırakılan yapıştırıcı numunelerinin elastite modülü değerleri 300 saatlik maruziyet diliminde düşüp 600, 900 ve 1200 saatlik maruziyet diliminde ise elastite modülü değerleri tekrar artmıştır. Yapıştırıcı numunelerinin elastite modülü değerlerinin en çok arttığı zaman dilimi 900 saatlik zaman dilimi olup % 12,74 kadar artmıştır. Nguyen ve ark. (2012) da yapıştırıcının gerilme mukavemeti % 13.9 azalırken, elastite modülü ise 744 saatlik maruziyetten sonra % 105 oranında önemli bir artış göstermiştir

- Yapıştırıcı numunesinde possion oranı değerleri 300 ve 1200 saatlik UV maruziyet dilimlerinde değişmezken, 600 ve 900 saatlik zaman dilimlerinde ise yapıştırıcının possion oranı artmıştır.

- UV ışının maruziyet süresi artırıldıkça yapıştırıcı numunesinin akma mukavemeti değerleri düşmüştür.

- UV ışının maruziyet süresi artırıldıkça kompozit levhanın çekme mukavemeti artmıştır. En yüksek artışın gerçekleştiği zaman dilimi 1200 saatlik maruziyet parametresi olmuştur.

- Statik çekme deneylerinden sonra tek tesirli yapıştırma bağlantı numunelerinde oluşan hasar tipi birleşik hasar tipi olmuştur. Yani kopma hem fiberlerden hemde yapıştırıcı noktalarında meydana gelmiştir.

6. KAYNAKLAR

Afshar A., Alkhader M., Korach C.S., Chiang, F.P. 2015. Effect of long-term exposure to marine environments on the flexural properties of carbon fiber vinylester composites, Department of Mechanical Engineering, Stony Brook University, Stony Brook, NY, USA, Department of Engineering, University of Mount Union, Alliance, OH, USA

Batista, N.L., Rezende, M.C., Botelho, E.C.2018. Effect of crystallinity on CF/PPS performance under weather exposure: Moisture, salt fog and UV radiation, Department of Mechanical Engineering, McGill University, 817 Sherbrook Street West, Montreal, QC H3A 0C3, Canada Department of Materials and Technology, UNESP, Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333, Guaratingueta, SP, Brazil, Institute of Science and Technology, UNIFESP, R. Talim, 330, Sao Jose dos Campos, SP, Brazil

Kaya, M. 2005. Yapıştırma Bağlantılarının Mekanik Özellikleri Üzerine Çevresel Faktörlerin Etkisi, ***UTED Aylık Havacılık Dergisi***, Aralık 2005, Türkiye.

Kırkayak, L., 2019. Yapıştırma Bağlantılı Kompozitlerde Yapıştırma Geometrisininin Gerilme Dağılımına Etkisi. ***Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,*** 25 (1) , 27-33 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/43460/532109

Kısa, M , Özen, M , Değrimenci, D , Demircan, G , Dirilmiş, M . 2017. Çevresel Etkilere Maruz Kompozit Malzemelerin Aşınma Davranışı. ***Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi,*** 2 (1) , 54-59 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/humder/issue/30491/341237

Kumar, B.G. Sıng R.P., Nakamura, T., 2002. Degradation of Carbon Fiber-reinforced Epoxy Composites by Ultraviolet Radiation and Condensation, Department of Mechanical Engineering State University of New York Stony Brook, NY 11794, USA

Lu, T., Solis-Ramos E., Yi, Y., Kumosa, M. 2017. Particle removal mechanisms in synergistic aging of polymers and glass reinforced polymer composites under combined UV and water, National Science Foundation Industry, University Cooperative Research Center for Novel High Voltage/Temperature Materials and Structures, University of Denver, 2155 E Wesley Ave, Denver, CO 80208, USA

Lu, T., Solis-Ramos E., Yi, Y., Kumosa, M. 2018. UV Degradation Model for Polymers and Polymer Matrix Composites, National Science Foundation Industry/University Cooperative Research Center for Novel High Voltage/Temperature Materials and Structures University of Denver, 2155 E Wesley Ave, Denver, 80208 USA

Lv, S., Liu, X., Gu, J., Jiang, Y., Tan, H., Zhang, Y. 2017. Effect of glycerol introduced into PLA based composites on the UV weathering behavior, Key Laboratory of Bio-based Material Science and Technology (Ministry of Education), College of Material Science and Engineering, Northeast Forestry University, Harbin 150040, PR China

Onat, A. 2015. Kompozit Malzemeler Ders Notu, Sakarya Meslek Yüksekokulu Metalurji Programı, 104, Sakarya.

Pekbey, Y.. Ağdacı O. 2013. "Tek ve çift Tesirli Yapıştırma Bağlantılarımın Serbest Titreşim Davranışının Parametrik Olarak İncelenmesi." 16. Ulusal Makine Teorisi Senpozyumu, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.

Pillay, S., Vaidya, U. K, Janowski, G.M. 2009, Effects of moisture and UV exposure on liquid molded carbon fabric reinforced nylon 6 composite laminates, Department of Materials Science and Engineering, The University of Alabama at Birmingham, 1530 3rd Avenue S BEC 254, Birmingham, AL 35294-4461, USA

Polat. Z. 2008. Hasarlı Kompozit Plakaların Tamir Yoluyla Mukavemetinin Arttırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe U.. Fen Bilimleri Enstitüsu, Afyon.

Turan, K. 2016. Kompozit malzemelerde yapışma bağlantılarının mukavemeti üzerine yama fiber takviye açısı etkisi, Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır.

Turan, K., Kaman, M.O. 2010. Tek tesirli yapıştırma bağlantılarında ilerlemeli hasar analizi, ***Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*** Cilt 16, Sayı 3, 2010, Sayfa 315-323.

Yan, L., Chouw, N., Jayaraman, K., 2015. Effect of UV and water spraying on the mechanical properties of flax fabric reinforced polymer composites used for civil engineering applications, Department of Construction and Structural Engineering, Fraunhofer Wilhelm Klauditz-Institut WKI, Bienroder Weg 54E, 38108 Braunschweig, Germany , Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Auckland, Auckland Mail Centre, Private Bag 92019, Auckland 1142, New Zealand, Department of Mechanical Engineering, The University of Auckland, Auckland Mail Centre, Private Bag 92019, Auckland 1142, New Zealand

Zaman, H.U., Khan, A., Khan, R.A., Huq, T., Khan, M.A., Shahruzzaman, Md., Rahman, Md.M., Al-Mamun, Md. Poddar, P. 2010. Preparation and Characterization of Jute Fabrics Reinforced Urethane Based Thermoset Composites: Effect of UV Radiation, Radiation and Polymer Chemistry Laboratory, Institute of Nuclear Science and Technology, Bangladesh Atomic Energy Commission, G.P.O. Box: 3787, Dhaka, Bangladesh

Ulas, A., O., Kaya, E., B., Sezdi, I., (2019), Benefits of composite materials in aerospace industry. https://medium.com/@omerulas2339/hava-uzay-yap%C4%B1lar%C4%B1nda-kompozit-malzeme-kullan%C4%B1m%C4%B1-fade5cbd7b64

Loctite Worldwide Design Handbook,1988.

Kaw, Autar K., 2014. Kompozit Malzeme Mekaniği, 1. Basım ,Efil Yayınevi.

Lopez, J.L, M. Sain, M., Cooper, P. 2006. Performance of Natural-Fiber–Plastic Composites under Stress for Outdoor Applications: Effect of Moisture, Temperature, and Ultraviolet Light Exposure, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 99, 2570 –2577.

Signor, A.W., VanLandingham, M.R., Chin, J.W. 2003. Effects of ultraviolet radiation exposure on Vinylester resins: characterization of chemical, physical and mechanical damage, Polymer Degradation and Stability, Vol. 79, 359-368,

Liau, W. B., Tseng, F. P. 1998. The effect of long- term ultraviolet light irradiation on polymer matrix composites, Polymer Composites, 1998, Vol. 19, No. 4,

Nguyen, L.C., Bai, Y., Zhao, X.L., Al-Mahaidi, R., 2012. Effects of ultraviolet radiation and associated elevated temperature on mechanical performance of steel/CFRP double strap joints, Composite Structures, 94, 3563–3573

Gülmez, S. 2018. Otomotiv endüstrisinde kullanılan polimer matrisli kompozit malzemeler, Yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli

Satı, N. 2018. Tek tesirli yapışma bağlantılarının hasar davranışları üzerine termal yaşlanma etkilerin araştırılması, Yüksek lisans tezi, Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır.

Temiz, V. 2003. Yapıştırma Bağlantıları, İstanbul Teknik Üniversitesi, 35, İstanbul.

Turan, K. 2018. The sea water effect on the mechanical properties of composite plates. 8th international advenced technologies symposium, elazığ.

Kayacan, R. 1988. Yapıştırma ve Metal Bağlantılar İçin Yapıştırıcı Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 167 s., İstanbul, Türkiye.

Turan, K., Kaman, M.O. 2011. Çift tesirli yapışma bağlantısı ile bağlanmış kompozit levhalarda gerilme ve hasar analizi, I. Ulusal Ege Kompozit Malzemeler Sempozyumu, İzmir.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	: Ahmet AKYÜZ
E-Posta	: ahmet.akyuz2134@gmail.com
Adres Bilgileri	: Övündüler Mah. Övündüler Sk. Kümeevler No: 39 Bağlar/Diyarbakır
Cep Telefonu	: 0553 180 1934

Kişisel Bilgiler

Toplam Tecrübe	: 5 yıl
Çalışma Durumu	: Çalışıyor
Eğitim Durumu	: Yüksek Lisans
Medeni Durumu	: Bekar
Askerlik Durumu	: Yapıldı (30.11.2019)
Doğum Tarihi	: 11.09.1992
Sürücü Belgesi	: B (2017)

Eğitim Bilgileri

Yüksek Lisans	: 21.09.2017-. Dicle Üniversitesi -Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekanik Anabilim Dalı
Tez	: Kompozit Levhaların Tek Tesirli Yapışma Bağlantıları Üzerinde UV Radyasyonu Etkilerinin Araştırılması
Üniversite (Lisans)	: 08.08.2011 -15.06.2015 Batman Üniversitesi - Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği